

基于聚偏二氟乙烯压电薄膜的播种机排种监测系统

黄东岩^{1,2}, 贾洪雷^{1*}, 祁悦², 朱龙图², 李洪刚³

(1. 吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025; 2. 吉林农业大学信息技术学院, 长春 130118;

3. 吉林省农业机械研究院, 长春 130025)

摘 要: 为了能够在恶劣的环境中实时自动监测播种机的排种状况, 提高监测的可靠性, 采用聚偏二氟乙烯 (polyvinylidene fluoride, PVDF) 压电薄膜传感器将排种器单粒落粒物理量转变成脉冲电压信号, 设计了以单片机 STC89C52 为核心的监测系统, 该系统可根据传感器输出的相邻脉冲电压信号的时间间隔与机具的前进速度, 计算出播种机的排种量, 排种速度, 播种面积, 漏播率等性能指标。试验台试验结果表明, 在排种器每秒落粒数分别为 5、8.75、10 时, 系统对排种量监测精度为 95.3%、96%、92.5%, 对漏播量监测精度为 90.4%、91%、90.2%; 田间试验结果表明, 在播种机前进速度分别为 3、4、5 km/h 时, 系统对排种量监测精度为 95.2%、93.8%、90.4%, 对漏播量监测精度为 93.3%、93.1%、89.7%。该系统满足排种器实时监测要求, 有助于提高播种作业质量。

关键词: 监测, 农业机械, 种子, 播种机, PVDF 压电薄膜, 单片机

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.003

中图分类号: S232.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0015-08

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.

Huang Dongyan, Jia Honglei, Qi Yue, et al. Seeding monitor system for planter based on polyvinylidene fluoride piezoelectric film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 15-22. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

随着中国农业装备的发展和农业产业结构的调整, 玉米精密播种机越来越广泛地应用于农业生产中, 排种器是播种机的关键部件, 其性能直接决定了播种机的播种质量。播种机在播种作业时, 其播种过程全封闭, 仅凭肉眼直接观测, 很难及时发现播种作业时机械传动故障、排种箱排空等造成的漏播现象, 尤其是使用大型播种机作业时, 由于其速度快、播幅宽, 一旦出现上述问题而未及时发现, 就会大面积漏播, 结果必将造成农业生产的损失^[1-3]。由此可见, 将漏播监测技术应用在播种机上, 具有极其重要的意义。

20 世纪 40 年代, 国外就开始研制精密播种机。随着国外不同类型精密播种机的相继引进及消化吸收, 中国研制的精密播种机不断推陈出新。同时,

许多新的材料和技术也应用到漏播检测装置中, 其中主要有 2 种传感器件: 一是光电传感器, 另外一种是一种是电容式传感器^[4-10]。将光电传感器置于排种管的下部, 当播种机正常工作时, 种子有规律的下落并通过红外对管, 遮断红外光束, 光敏二极管将接收到的断续红外光信号转变为电脉冲信号, 经过整形放大电路传递给单片机系统; 当种箱或排种器排种不正常时, 种子不再通过红外对管, 红外光二极管发出的红外光全部照在接收管上, 光强增大, 此时监测系统将对漏播进行提示。如宋鹏等^[11]研制的自清洁精密播种机工作性能实时监测系统, 冯全等^[12]研制的免耕播种机高抗尘排种监测器。虽然取代人工, 但光电传感器受环境光和粉尘的影响很大。将电容式传感器作为检测元件, 其田间试验的可靠性、稳定性等方面还达不到实际使用的要求, 所以应用电容传感器的漏播检测装置很少得到应用。随着计算机技术的发展, 图像分析方法也在排种性能检测中得到了应用^[13-17]。

中国在 20 世纪 80 年代初开展了压电陶瓷材料监测排种器性能的研究^[19], 该方法虽然可以进行排种量的监测, 但由于探测传感器改变了籽粒在排种管里的运动轨迹, 有可能改变籽粒下落的间隔时间即粒距, 同时增加了排种管内籽粒堵塞的可能性而遭到弃用。

收稿日期: 2013-06-20 修订日期: 2013-10-23

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2011BAD20B09); 吉林省科技发展计划项目 (20130206007NY)

作者简介: 黄东岩 (1976—), 男, 吉林长春人, 副教授, 博士, 主要从事农业机械自动化的研究。长春 吉林农业大学信息技术学院, 130118。Email: cchdy760829@sina.com

※通信作者: 贾洪雷 (1957—), 男, 吉林长春人, 副教授, 博士, 主要从事保护性耕作全程机械化的研究。长春 吉林大学生物与农业工程学院, 130025。Email: jiahl@vip.163.com

日本科学家 Kawai 发现极化后的有机材料聚偏二氟乙烯 (polyvinylidene fluoride PVDF) 具有压电特性后, PVDF 压电薄膜的优越性能引起了人们的广泛关注。PVDF 压电薄膜是一种动态敏感材料, 能显现出正比于机械应力变化的电荷, 而不是在静态条件下工作^[20-21]。PVDF 压电薄膜具有如下优点:

1) 压电常数 d 和压电系数 g 比一般的压电陶瓷材料高, 有更明显的压电效应。2) 柔性 and 加工性能好, 可弯曲不易破碎, 任意剪裁, 可制成 $5\ \mu\text{m}\sim 1\ \text{mm}$ 厚度不等、形状不同的大面积薄膜, 因此适于做大面积传感元件。3) 频率响应宽, 室温下在 $10^5\sim 10^9\ \text{Hz}$ 范围内响应平坦, 即从准静态、低频、高频、超声及超高频均能转换机电效应。4) 机械强度高, 化学稳定性和耐疲劳性高。5) 质量轻, 它的密度只是压电陶瓷的 $1/4$, 做成传感器对被测量结构的影响小。

凭借其优越的物理特性, PVDF 压电薄膜在电声、水声、结构监测、航空和航海、医疗电子和机器人领域都有着广泛的实际应用^[22-25]。本文应用轻软的 PVDF 压电薄膜设计一种适用于玉米播种的漏播监测系统, 该系统结构简单, 适用性强, 采用悬臂梁结构的传感器对排种变异系数影响小, 能够在恶劣的环境中正常工作, 并能实时自动监测播种机的各项性能指标, 如: 排种量、排种速度、播种面积、重播率、漏播率、粒距合格率等, 如出现漏播, 可通过声光报警系统进行报警, 提示驾驶员停车排除故障。

1 系统设计

1.1 系统结构及工作原理

监测系统硬件部分分为监测器和报警器, 结构框图如图 1。监测器由 PVDF 压电传感器、信号采集电路、霍尔测速传感器、无线发射装置与中央处理器构成。报警器由无线接收装置、声光报警装置、液晶显示装置与中央处理器构成。监测器放置在排种器下方, 报警器放置在驾驶室内。

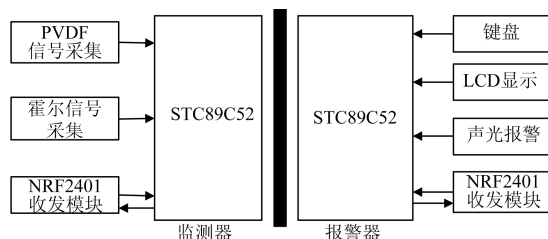


图 1 系统结构框图

Fig.1 System structural diagram

PVDF 压电传感器安装在排种管内部。排种器工作时, 种子下落擦碰到 PVDF 压电薄膜, 使

压电薄膜发生变形, 压电薄膜内部会产生极化现象, 同时在压电薄膜的 2 个上下表面出现正负相反的电荷, 形成电压信号, 当排种器发生机械故障或者排种器的壳体内种子排空时, 此时压电传感器不会受到种子的碰撞, 压电薄膜也就不会产生电荷, 电压信号消失。因此, 可以通过压电传感器产生的电压信号的真假来判定排种器是否出现漏播现象。

根据《单粒精密播种机试验方法》^[26], 记录传感器的输出信号的时间间隔与机具的前进速度, 可计算出播种机的排种量、排种速度、播种面积、漏播率、粒距合格率等性能指标, 实时监测播种机的工作状态。具体判断依据为

$$0.5\bar{d} \leq v\Delta t \leq 1.5\bar{d} \quad (\text{正常})$$

$$v\Delta t > 1.5\bar{d} \quad (\text{漏播})$$

$$v\Delta t < 0.5\bar{d} \quad (\text{重播})$$

式中, v 为播种机前进速度, m/s ; \bar{d} 为理论株距, m ; Δt 为相邻两种子下落时间间隔, s 。

1.2 压电薄膜传感器

将 $0.05\ \text{mm}$ 厚的压电薄膜裁剪成 $40\ \text{mm} \times 30\ \text{mm}$ 矩形固定在塑料边框上, 将 2 条信号传输线固定在压电薄膜的上下表面, 使用耐磨 PVC 压延薄膜附着在压电薄膜接触种子的一面。图 2 为压电传感器的安装位置, 压电传感器采用悬臂梁结构安装在排种管内部, 距离排种器 $30\ \text{mm}$, 柔性 PVDF 的一端固定, 另一端悬空, 使其能经受冲击载荷。PVDF 传感器有良好的线性度和动态测量范围, 可以用来监测连续冲击。为了避免种子反弹再次撞击传感器, 传感器与垂直方向成 30° 夹角倾斜安装。压电薄膜传感器柔软轻薄、灵敏度高, 传感器距离排种器近距离倾斜放置, 种子仅擦碰传感器后便迅速滑落, 可以防止排种较大时堵塞排种管, 对排种器变异系数影响也很小。

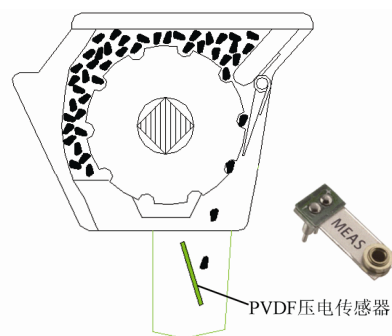


图 2 压电传感器安装位置

Fig.2 Installation site of piezoelectric sensor

如图 3 为用示波器观测到的传感器的输出波形图,当种子下落触碰到压电薄膜传感器时,薄膜变形产生极化现象,同时产生底宽 5 ms,幅值为 0.1 V 的尖脉冲电压信号,变形恢复后,信号消失,每一粒种子触碰到压电薄膜时,都会相应产生一个脉冲信号。

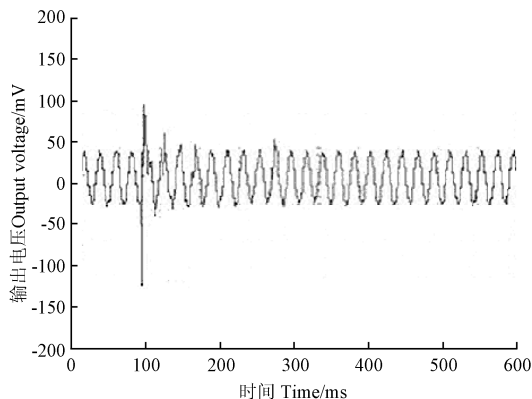
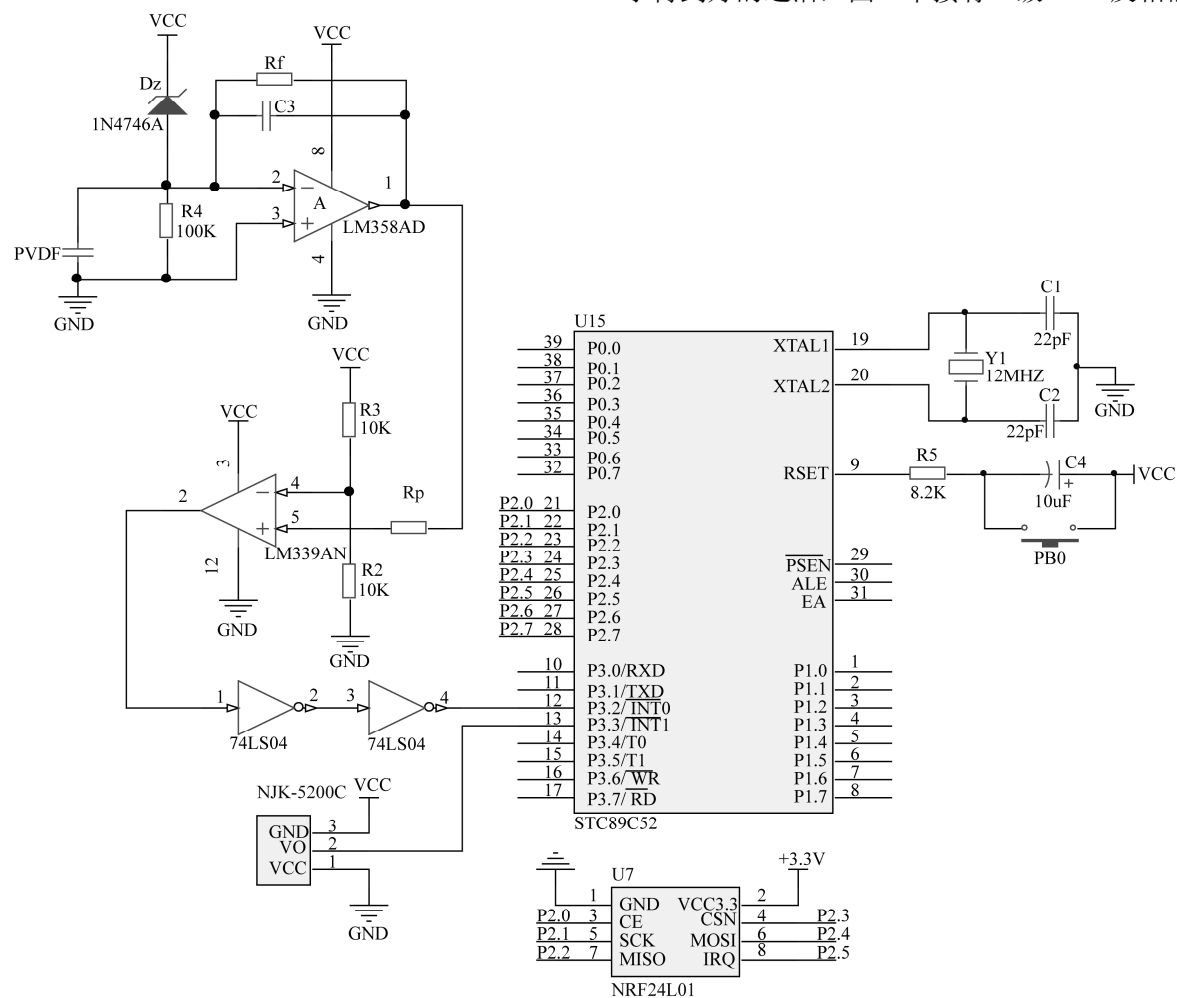


图 3 压电传感器输出波形图

Fig.3 Output oscillogram of piezoelectric sensor

1.3 系统硬件设计

系统硬件由监测器电路和报警器电路构成,如



a. 监测器电路图

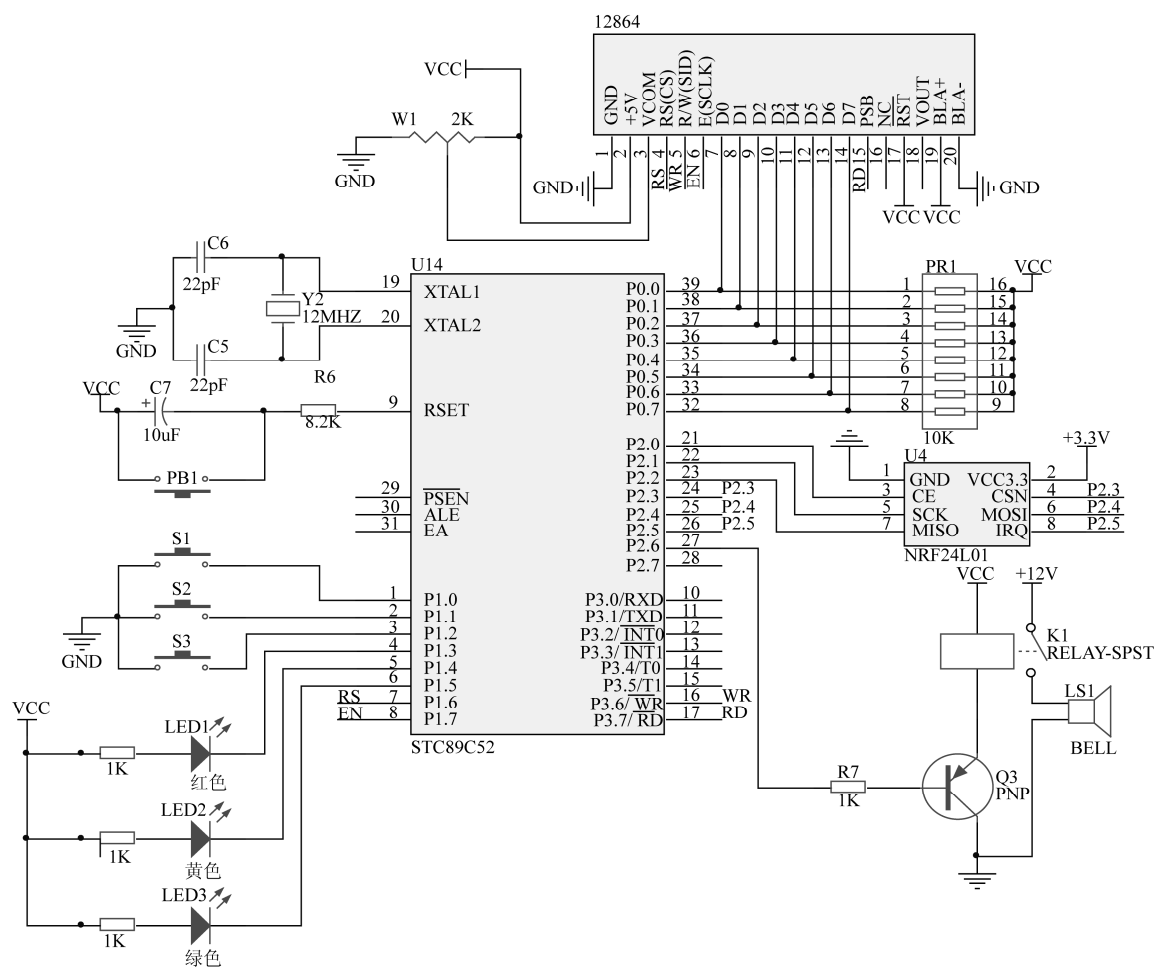
a. Monitor circuit diagram

图 4 所示。系统采用 2 片单片机 STC89C52 分别作为监测器和报警器的中央处理器,监测器用于采集 PVDF 传感器信号和霍尔传感器信号;报警器主要用于处理人机交互。2 片单片机通过无线数传模块 NRF24L01 进行通信,监测器将监测到的系统状况通过无线通信传输到报警器,之后报警器电路予以报警和显示。

1.3.1 监测器电路设计

监测器电路包括 PVDF 信号采集电路、霍尔测速电路和无线发射电路 3 部分。

1) PVDF 信号采集电路的设计。PVDF 传感器所产生的信号经电荷放大器和门限比较器后,再通过两级 TTL 反相器与单片机的 P3.2 口相连。在该电路中稳压管 Dz 和电阻 R4 构成稳压电路为后续处理提供一个稳定静态工作环境;运算放大器 LM358 和电容 C3 构成电荷放大电路,C3 为反馈电容;电阻 Rp 的作用则是电压转换,其将电荷放大后所形成的电流转换成输出电压。改变变阻器 R3 的值,可以设置门限比较器 LM339 的阈值,设定合适的阈值能够完全抑制图 3 中共模干扰信号。为了得到好的边沿,图 4 中接有 2 级 TTL 反相器。



b. 报警器电路图

b. Alarm circuit diagram

图 4 系统硬件电路原理图

Fig.4 Schematic circuit diagram of monitoring system

2) 霍尔测速电路的设计。本系统测速电路选用 NJK-5002C 型霍尔传感器采集车轮轮毂信号,其检测距离可达 10 mm,输出方式为 NPN 常开,使用中不需要外围元件,V0 管脚直接与单片机的 P3.3 相连。

3) 无线收发功能的实现。系统选用 NRF24L01 模块来实现数据无线传输。鉴于 NRF24L01 是 SPI 接口,本系统采用了 P2.0 至 P2.5 共 6 个 I/O 口模拟 SPI 时序的方法来实现模块与微处理器的连接。

1.3.2 报警器电路设计

报警器的设计主要用于人机对话,包括键盘、显示和声光报警电路等部分。

1) 键盘的设计。本系统对株距进行的设置采用独立式按键。S1、S2、S3 分别为株距+、株距-、检测/确认键,开机后按检测键、输入设定株距、再按确认键即可。

2) 显示部分的设计。采用单片机 P0 口作为液晶显示屏 LCD12864 的数据线接口,使用 P1.6、P1.7、P3.6、P3.7 这 4 个 I/O 口作为 LCD12864 控

制线接口。

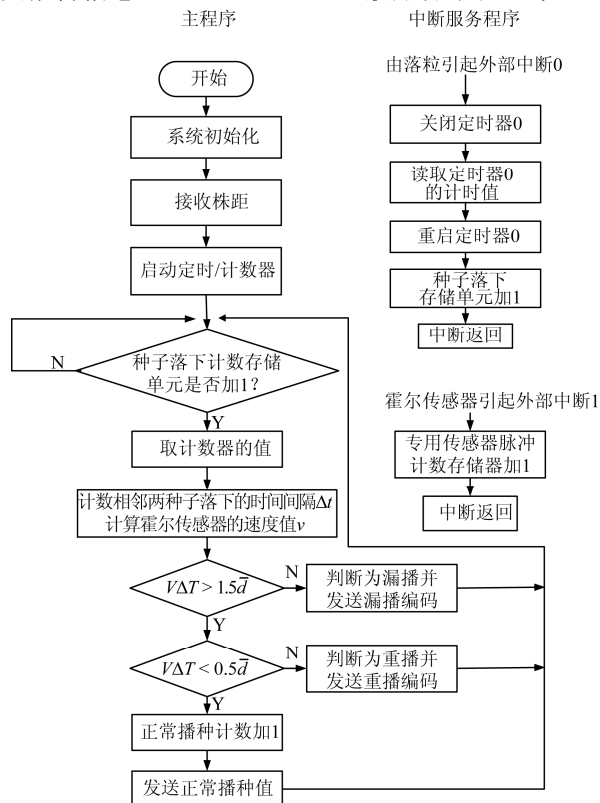
3) 报警功能的实现。当系统工作期间出现漏播时,P2.6 送出的低电平驱动蜂鸣器鸣叫报警,并且红色 LED 灯亮;若出现重播时,则蜂鸣器报警且黄色 LED 灯亮;若工作正常,则 P2.6 输出高电平,蜂鸣器不报警,且绿色 LED 灯亮。

2 系统软件设计

系统程序流程如图 5 所示。系统工作前,先对监测器和报警器进行系统初始化设置。初始化之后,即完成了对系统工作模块、相关寄存器和 I/O 口的初始化设置。

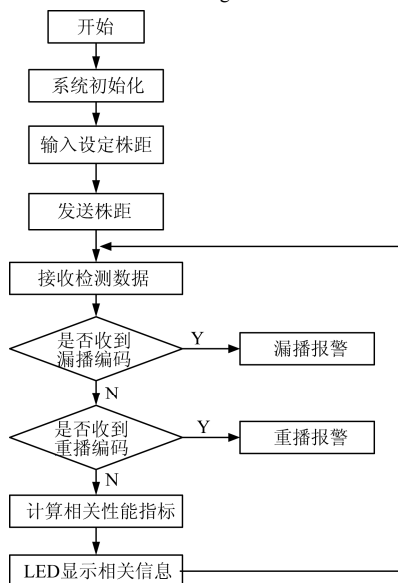
对于监测器,单片机接收到外部中断 0 的触发信号后,在中断 0 的服务程序中开启定时器 0,并在下一次进入该中断服务程序时关闭定时器 0、读取定时值 Δt 、之后再开启定时器 0 重新计时,此时的定时值 Δt 可视为相邻 2 种子下落时间间隔;霍尔传感器将其所采集的车轮轮毂信号通过 P3.3 口引起外部中断 1 的触发,单片机 STC89C52 则通过相

应中断服务记录定时时间内（用定时器 1 定时）的轮数数，从而计算播种机前进路程及前进速度。对于报警器程序，其初始化主要是针对无线收发模块和液晶显示模块。在 NRF24L01 完成初始化和发送设定的株距后，单片机不断地循环运行无线接收程序，当接收到监测数据时则根据其解码分析作出相应的声光报警；同时，单片机也会将有关性能指标及报警信息通过 JM12864M-2 液晶屏予以显示。



a. 发射端

a. Transmitting terminal



b. 接收端

b. Receiving end

图 5 程序流程图

Fig.5 Flow chart of algorithm

3 试验结果与分析

3.1 试验台试验结果与分析

采用国产指夹式排种器进行玉米精密播种的室内试验台试验，排种器指夹数为 12，即排种轴旋转一周排种 12 粒。试验台台车速度 1.5~12 km/h，排种轴转速 15~120 r/min，2 种速度均能无极可调。霍尔传感器安装在台车轮子上，测量台车前进速度。将本监测系统所测结果与人工检测结果进行比较，检验本监测系统的监测效果及可靠性。人工检测是人工直接测量落在沙盘中的种子的粒数和粒距，进行统计分析。

试验时，选择株距 10 cm，台车前进速度分别为 1.8、3.6 km/h；选择株距 20 cm，台车前进速度 6.3 km/h，所对应的排种轴转速分别为 25，50，43.75 r/min，每秒落粒数分别为 5、10、8.75。为了检测传感器对排种器变异系数的影响，人工检测安装传感器和不安装传感器情况下排种器的变异系数。试验对比结果如表 1。试验表明，由于传感器轻薄且种子下落过程中只是擦碰传感器，因此安装传感器后，排种器的变异系数只是略有增大。传感器采用了悬臂梁的安装方式，并且与垂直方向成 30°夹角，排种器在每秒落粒数为 10 粒时，在安装传感器的位置，排种管内没有出现堵塞现象。在模拟播种机正常作业速度范围内，系统对播种量检测精度可达 90%以上，对漏播检测精度也可达到 90%，

表 1 对比试验结果

项目 Item	检测 粒数 Seeding amount	漏播 粒数 Leakage amount	重播 粒数 Multiples amount	变异系数 Variation coefficient /%
系统检测 System check	1024	66	36	31.25
人工检测 Human check	1075	73	54	25.35
5 粒·s ⁻¹ 检测精度 Check accuracy /%	95.3	90.4	66.7	
系统检测 System check	1011	55	47	34.28
人工检测 Human check	1092	61	73	32.54
10 粒·s ⁻¹ 检测精度 Check accuracy /%	92.5	90.2	64.4	
系统检测 System check	1055	71	39	33.68
人工检测 Human check	1098	78	62	28.83
8.75 粒·s ⁻¹ 检测精度 Check accuracy /%	96	91	62.9	

对于 2 粒或者 2 粒以上种子擦碰传感器, 时间间隔很近时, 传感器不能区分其产生的波形, 因此系统对重播的检测精度较低。

3.2 田间试验结果与分析

田间试验于 2013 年春季在吉林农业大学试验农场进行, 试验地为黑钙土, 垄距为 65 cm, 前茬为玉米茬。监测系统安装在吉林康达 2BMZF-2X 型免耕精量施肥播种机上, 排种器为指夹式, 行数 2 行。所用的种子为“先玉 335”, 理论株距 18 cm。随机选取 3 个测区, 测区长度 50 m, 卸下播种机覆土装置, 拖拉机以不同速度进行作业, 监测系统所测结果与人工检测结果进行比较, 试验对比结果如表 2。田间试验表明, 机具振动并没有影响监测系统正常工作, 传感器的输出信号经电荷放大器放大后幅值均大于 2.5 V, 而干扰信号的幅值均小于 1.8 V, 设置门限比较器的阈值在 2~2.4 V, 能够完全抑制由于机具振动而产生的干扰信号。

表 2 田间试验结果
Table 2 Field test results

项目 Item	检测 粒数 Seeding amount	漏播 粒数 Leakage amount	重播 粒数 Multiples amount	变异系数 Variation coefficient/%
3 km·h ⁻¹	系统检测 Check by system	522	28	25.35
	人工检测 Check by artificial	548	30	
	检测精度 Check accuracy/%	95.2	93.3	
4 km·h ⁻¹	系统检测 Check by system	501	27	32.54
	人工检测 Check by artificial	534	29	
	检测精度 Check accuracy/%	93.8	93.1	
5 km·h ⁻¹	系统检测 Check by system	531	35	33.68
	人工检测 Check by artificial	587	39	
	检测精度 Check accuracy/%	90.4	89.7	

4 结 论

1) 本文应用 PVDF 压电薄膜制作漏播检测传感器, 利用压电薄膜的压电效应将排种器内种子流动状态转换成脉冲电压信号, 传感器对种子的轻微擦碰反应灵敏, 能够在恶劣的环境下可靠工作, 并且对排种器的变异系数影响很小;

2) 设计了简单可靠的漏播检测系统硬件电路及相应软件, 根据传感器输出的相邻脉冲电压信号

的时间间隔与机具的前进速度, 计算出播种机的排种量, 排种速度, 播种面积, 漏播率等性能指标;

3) 应用该系统进行试验台试验和田间试验, 试验台试验结果表明, 在排种器每秒落粒数分别为 5、8.75、10 时, 系统对排种量监测精度为 95.3%、96%、92.5%, 对漏播量监测精度为 90.4%、91%、90.2%, 极限的排种量没有对系统的监测精度造成影响, 在传感器的安装位置, 排种管内没有发生堵塞现象; 田间试验结果表明, 在播种机前进速度分别为 3、4、5 km/h 时, 系统对排种量监测精度为 95.2%、93.8%、90.4%, 对漏播量监测精度为 93.3%、93.1%、89.7%。系统具有较强的抑制干扰能力, 机具的振动没有对系统的监测精度造成影响。该系统能够有效地监测机具排种性能, 有助于提高播种作业质量。

[参 考 文 献]

- [1] 史智兴, 高焕文. 排种监测传感器的试验研究[J]. 农业机械学报, 2002, 33(2): 41—43.
Shi Zhixing, Gao Huanwen. RLD optoelectronic sensor for seeding monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(2): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张锡志, 李敏, 孟臣. 精密播种智能监测仪的研制[J]. 农业工程学报, 2004, 10(2): 136—139.
Zhang Xizhi, Li Min, Meng Chen. Research and development of precision seeding intelligent monitor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 10(2): 136—139. (in Chinese with English Abstract)
- [3] 赵斌, 匡丽红, 张伟. 气吸式精播机种、肥作业智能计量监测系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 147—153.
Zhao Bin, Kuang Lihong, Zhang Wei. Seed and fertilizer intelligent gauging and monitoring system of suction precision seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 147—153. (in Chinese with English Abstract)
- [4] 张晓辉, 赵百通. 播种机自动补播式监控系统的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 119—123.
Zhang Xiaohui, Zhao Baitong. Automatic reseeding monitoring system of seed drill[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(7): 119—123. (in Chinese with English Abstract)
- [5] 赵立业, 蹇兴东. 排种性能检测传感器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 41—43.
Zhao Liye, Jian Xingdong. Study on optoelectronic sensor for performance detection of a seedmeter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7): 41—43. (in Chinese with English Abstract)
- [6] 郑一平, 花有清, 陈丽能, 等. 水稻直播机播种监测器研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 77—80.
Zheng Yiping, Hua Youqing, Chen Lineng, et al. Seeding

- detectors for rice drill[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(4): 77—80. (in Chinese with English Abstract)
- [7] 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 (Transactions of the CSAE), 2012, 28(13): 16—21. (in Chinese with English abstract)
- [8] 周利明, 张小超, 苑严伟. 小麦播种机电容式排种量传感器设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 99—103.
Zhou Liming, Zhang Xiaochao, Yuan Yanwei. Design of capacitance seed rate sensor of wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(10): 99—103. (in Chinese with English Abstract)
- [9] 刘春旭, 赵德春, 单爱军. 红外反射式播种机电子监测装置的设计[J]. 农机化研究, 2010(6): 117—120.
Liu Chunxu, Zhao Dechun, Shan Aijun. Design of infrared reflective electro-monitor for seeding machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(6): 117—120. (in Chinese with English Abstract)
- [10] 窦钰程, 欧阳斌林, 陈海涛. 光敏式气吸播种机监测装置研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 133—136.
Dou Yucheng, Ouyang Binlin, Chen Haitao. Study on photosensitive-type suction planter monitoring apparatus[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9): 133—136. (in Chinese with English Abstract)
- [11] 宋鹏, 张俊雄, 李伟, 等. 精密播种机工作性能实时监测系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 71—74.
Song Peng, Zhang Junxiong, Li Wei, et al. Real-time Monitoring system for accuracy of precision seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 71—74. (in Chinese with English abstract)
- [12] 冯全, 栗震霄, 吴建民, 等. 免耕播种机高抗尘排种监测器的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(9): 68—70.
Feng Quan, Li Zhenxiao, Wu Jianmin, et al. Development of dustproof annunciator system for no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(9): 68—70. (in Chinese with English abstract)
- [13] 胡少兴, 查红彬, 马成林. 基于序列图像的排种器性能检测方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 52—55.
Hu Shaoxing, Zha Hongbin, Ma Chenglin. Detection method to quality of the seed metering based on the serial of images[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 52—55. (in Chinese with English Abstract)
- [14] 李伟, 林家春, 谭豫之, 等. 基于图像处理技术的种子粒距检测方法研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 165—168.
Li Wei, Lin Jiachun, Tan Yuzhi, et al. Measuring method of seed spacing on test rig based on image processing techniques[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(6): 165—168. (in Chinese with English Abstract)
- [15] 蔡晓华, 吴则全, 刘俊杰, 等. 基于计算机视觉的排种粒距实时检测系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 41—44.
Cai Xiaohua, Wu Zequan, Liu Junjie, et al. Grain distance real-time checking and measuring system based on computer vision[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 41—44. (in Chinese with English Abstract)
- [16] 张亚秋, 吴文福, 王刚, 等. 基于逐步改变阈值方法的玉米种子图像分割[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 200—204.
Zhang Yaqiu, Wu Wenfu, Wang Gang, et al. Separation of corn seeds images based on threshold changed gradually[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(7): 200—204. (in Chinese with English Abstract)
- [17] 王玉顺, 郭俊旺, 赵晓霞, 等. 基于机器视觉的条播排种器性能检测及分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 50—54.
Wang Yushun, Guo Junwang, Zhao Xiaoxia, et al. Performance detection and analysis of a machine vision based metering mechanism of drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 50—54. (in Chinese with English Abstract)
- [18] 陈进, 边疆, 李耀明, 等. 基于高速摄像系统的精密排种器性能检测试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 90—95.
Chen Jin, Bian Jiang, Li Yaoming, et al. Performance detection experiment of precision seed metering device based on high speed camera system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(9): 90—95. (in Chinese with English Abstract)
- [19] 王树才, 许绮川, 彭传友, 等. 单粒排种器单片机检测系统性能研究[J]. 华中农业大学学报, 1998, 17(1): 96—100.
Wang Shucai, Xu Qiquan, Peng Chuanyou, et al. Studies on the measurement of chip microprocessors system of single seed drill[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1998, 17(1): 96—100. (in Chinese with English abstract)
- [20] Kawai H. The piezoelectricity of poly(vinylidene fluoride)[J]. Jpn J Appl Phys, 1969, 8(7): 975—976.
- [21] Fukada E. History and recent progress in piezoelectric polymers[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2000, 47(6): 1277—1290.
- [22] Lang S B, Muensit S. Review of some lesser-known applications of piezoelectric and pyroelectric polymers[J]. Appl Phys A, 2006, 85(2): 125—134.
- [23] Muggleton J M, Brennan M J, Pinnington R J, et al. A novel sensor for measuring the acoustic pressure in

- buried plastic water pipes[J]. Journal of Sound and Vibration, 2006, 295(3/4/5): 1085—1098.
- [24] Satu Karki, Jukka Lekkala, Hannu Kuokkanen, et al. Development of a piezoelectric polymer film sensor for plantar normal and shear stress measurements[J]. Sensors and Actuators A, 2009, 154(1): 57—64.
- [25] Shirinov A V, Schomburg W K. Pressure sensor from a PVDF film[J]. Sensors and Actuators A, 2008, 142(1): 48—55.
- [26] GB/T 6973-2005 单粒（精密）播种机试验方法[S].

Seeding monitor system for planter based on polyvinylidene fluoride piezoelectric film

Huang Dongyan^{1,2}, Jia Honglei^{1*}, Qi Yue², Zhu Longtu², Li Honggang³

(1. Key Laboratory of Bionics Engineering, Ministry of Education, Jilin Agricultural University, Changchun 130025, China;
2. College of Information, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 3. Jilin Province Agricultural Machinery Research Institute 130025, China)

Abstract: During the process of seeding, once the fault cannot be identified, there will be a large area of missed planting and loss of agricultural production. It is very important to improve the reliability of the seed monitoring system. In this paper, a seed monitoring system was developed based on a PVDF piezoelectric film sensor. The system is simple, with strong applicability. The sensor with the cantilever structure has little effect on the seed coefficient of variation. The system can work in harsh environments. According to the sensor output signal and the forward speed of the machine, the amount of seeding, the speed of seeding, seeding acreage, leakage rate, and other performance indicators can be gained. An alarm will be given once there is the phenomenon of a missing seed or blocking. According to the alarm signal, the tractor driver stops to check the planter.

A PVDF piezoelectric film sensor is installed in the seeding tube under the seed-metering device. During the process of seeding, seeds sideswipe the PVDF piezoelectric film one by one. The stricks of seeds make deformations of the piezoelectric film. At the same time, the piezoelectric polarization is generated inside the film. Positive and negative charges are gathered on the upper and lower surfaces of the piezoelectric film respectively. The charges generate a voltage signal. When the seed-metering device fails, the piezoelectric sensor will not be subject to stricks of seeds, and the voltage signal disappears. Therefore, the voltage signals generated by the piezoelectric sensor can be used to determine whether there is a missed planting phenomenon. In order to avoid rebounds of the seed on the sensor, the sensor is installed in a 30° angle with the vertical direction. The piezoelectric film sensor is soft, thin, and highly sensitive. The sensor is near to the seed-metering device, the collision of seed and the sensor is rapid, so the phenomenon of blocking is prevented at the installation position for the sensor.

The system hardware is composed of a monitor and an alarm circuit. The central processors of the monitor and alarm are two single-chip microcomputers, and the type is STC89C52. The signals of the PVDF sensor and the hall sensor are collected by the monitor circuit. The alarm circuit is mainly used for processing the human-computer interaction. Two single-chip microcomputers communicate by a wireless data transmission module NRF24L012. The information of seeding performance gathered by the monitor is transmitted to the alarm through the wireless transmission. The alarm circuit displays the alarm signals.

The system was applied for both a bench test and a field test. When the amounts of seeding are 5, 8.75 and 10 seeds per second, the system accuracy for amount of seeding is 95.3%, 96%, and 92.5% respectively, the system accuracy for missed planting is 90.4%, 91%, and 90.2% respectively. A large amount of seeds does not affect the system's accuracy. When the planter forward speed is 3, 4 and 5 km/h, the system accuracy for the amount of seeding is 95.2%, 93.8%, and 90.4% respectively, the system accuracy for missed planting is 93.3%, 93.1%, and 89.7% respectively. The system has a strong ability of anti-interference. Equipment vibrations do not affect the accuracy of the system. This system can effectively monitor seeding performance, and help to improve sowing quality.

Key words: monitoring, agricultural machinery, seed, planter, PVDF Piezoelectric Film, chip microprocessor

(责任编辑: 刘丽英)