

2CM-2 型马铃薯播种机漏播补偿系统的设计与研究

刘全威¹, 吴建民^{1*}, 王 蒂¹, 孙 伟¹, 王关平¹, 石林榕¹, 吴 静²

(1. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 郑州大学化学与分子工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 为了提高马铃薯播种机作业质量和工作效率, 针对马铃薯播种机漏播的问题, 设计了基于 ATmega16 单片机的马铃薯播种机漏播补偿系统, 采用 C 语言编写了监测和补偿系统的程序。试验结果表明: 系统的灵敏度为 0.1356 s, 补种率达 90% 以上, 补偿后的漏播率小于 1%, 补种失败时, 声光报警率为 100%, 漏播补偿系统能够及时准确补种, 有效减少漏播损失。

关键词: 马铃薯播种机; 微控制器; 漏播补偿系统; 补种机构

中图分类号: S223.2; TP277 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0260-07

Design and test of a microcomputer-controlled loss sowing compensation system for 2CM-2 potato seeder

LIU Quan-wei¹, WU Jian-min^{1*}, WANG Di¹, SUN Wei¹, WANG Guan-ping¹, SHI Lin-rong¹, WU Jing²

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Chemistry and Molecular Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: In attempt to solve the problem of seeding absent of the Potato Seeder, ameliorate the quality of mechanical work and improve work efficiency, a microcomputer-controlled loss sowing compensation system for potato seeder was developed based on microcomputer-controlled ATmega16, the core of compensation system. The monitor and compensation program were written by using c language. The experiment results indicated that system sensitivity was 0.1356 s, rate of reseedling was 90%, seeding absent rate was less than 1%, and rate of alarm was 100%. When seeding absent of potato seeder occurred, the loss sowing compensation system was able to reseed timely and accurately, and reduce seeding absent loss efficiently.

Keywords: potato seeder; microcomputer-controller; loss sowing compensation system; reseedling mechanism

马铃薯是我国主要的农作物之一。近年来,随着种植面积不断增加,马铃薯种植机具的研发和推广受到人们越来越多的关注。马铃薯播种机是马铃薯产业发展的关键机具,马铃薯播种机的播种质量直接关系到马铃薯的生长发育和产量,而马铃薯播种机的播种质量主要取决于排种装置。勺链式排种器是马铃薯播种机使用较为广泛的一种排种装置,该装置采用链或带传动,取种勺通过勺柄连接在传动链或带上^[1]。勺链式排种装置具有造价低、不伤种、株距可调等优点,但由于受取种方式的限制,

播种过程中容易出现漏播情况^[2-3]。漏播、补种难问题一直是马铃薯机械化种植的难题。针对马铃薯播种的漏播问题,一般通过改进马铃薯播种机的结构^[4]来减少漏播率,但改进后的马铃薯播种机播种过程中仍有 7% 左右的漏播率。目前主要采用人工补种方式来降低漏播率,这种方式不但增加了农民的劳动强度和种薯成本,还会因取种勺运动速度快,人工不能及时补种而出现漏补情况。解决漏播问题的有效措施是增加播种监测与漏播补偿装置,检测到托种勺上缺种,及时补种^[5]。我国播种机研究工

收稿日期:2012-12-24

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2012BAD06B03);甘肃省科技重大专项(1102NKDM025)

作者简介:刘全威(1985—),男,河南省项城市人,在读硕士,研究方向为机械化保护性耕作技术及机具研究。E-mail:tiandishaou-123@163.com。

* 通信作者:吴建民(1958—),男,甘肃定西人,教授,博士生导师,研究方向为机械化保护性耕作技术及机具研究。E-mail:wujm@gsau.edu.cn。

作者正在积极研究开发适合中国实际情况的播种作业质量监控装置^[6-9],其中大多是对小麦^[10]、玉米^[11]、芝麻^[12]、油菜籽^[13]等小粒种子播种过程进行监测、补偿和声光报警的装置^[14-17],而对于马铃薯漏播补偿装置的研究很少。为有效解决勺链式马铃薯播种机播种过程中的漏播问题,本文设计了一种马铃薯播种机漏播补偿系统,该系统可以实现播种过程的自动监测并在出现漏播时及时准确补种。

1 系统总体设计与工作原理

1.1 系统灵敏度分析

马铃薯播种的株距 L 与播种密度 N 、行距 H 有关,三个参量之间的关系可以用以下数学公式表示:

$$L = 10000 / (NH) \quad (1)$$

马铃薯的种植参考标准为: $N = 75\,000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, $H = 0.6 \text{ m}$, 计算得出: $L = 0.222 \text{ m}$ 。

要防止播种过程出现漏播,必须使系统在播种机前进一个株距的时间内完成补种。

正常的落种时间 t 与株距 L 和播种机的前进速度 v 有关,三者之间的关系可以用以下公式表示:

$$L = vt \quad (2)$$

资料^[18]显示:取种勺的线速度不应超过 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,否则,取种的质量会变差。为了使系统的灵敏度达到播种过程中托种勺速度变化的要求,取 $v = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $L = 0.222 \text{ m}$, 则 $t = 0.222 \text{ s}$ 。可见,要保证漏播补偿系统及时补种,系统的灵敏度应在 0.222 s 以内。

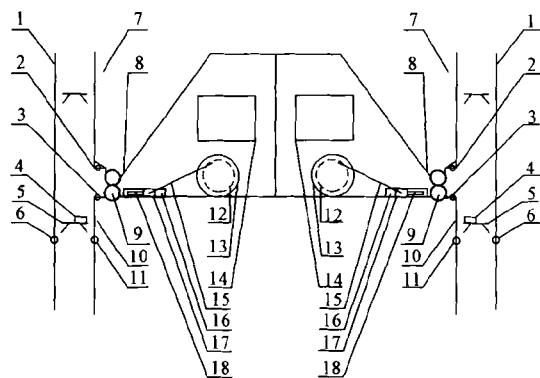
1.2 漏播补偿系统结构

该系统主要由电源模块、传感器模块、单片机、补种模块、液晶显示模块、声光报警模块等组成。其中,传感器模块包括光电传感器和霍尔传感器;补种模块包括直流电机和曲柄滑块补种机构。具体构成如图1所示。由于机具工作环境恶劣,在播种过程中振动较大,系统各个模块之间采用航空插头连接,系统电源使用拖拉机上自带的 12 V 直流电源。

1.3 工作原理

如图1所示,两套漏播补偿系统均安装于2CM-2型马铃薯播种机肥箱上部、两补种箱之间的箱子里。当托种勺5到达霍尔传感器10的安装位置,霍尔传感器10将检测到的托种勺到达的信息传递到单片机系统14,单片机处理完该信息后向光电传感器1的接收管11发送工作指令。光电传感器检测到托种勺无种时,向单片机发送高电平,单片机根据程序向直流电机13发出工作指令,直流电机转动 $3/4$ 周,带动曲柄滑块机构进行补种。反之,直流电

机不工作。将该漏播补偿原理应用于现有勺链式马铃薯播种机,可以解决马铃薯播种过程的漏播问题。



注:1.护板;2.光电传感器2的红外发射管;3.光电传感器2的红外接收管;4.磁钢;5.托种勺;6.光电传感器1的红外线发射管;7.补种箱;8.弹片;9.薯种;10.霍尔传感器;11.光电传感器1的红外线接收管;12.曲柄;13.直流电机;14.单片机系统;15.连杆;16.导轨;17.滑块;18.打击棒

Note: 1. Guard plate; 2. Infrared tube of photoelectric sensor No. 2; 3. Photo diode No. 2; 4. Magnet steel; 5. Spoon of holding seed; 6. Infrared tube of photoelectric sensor No. 1; 7. Reseeding box; 8. Flexure strip; 9. Potato seed; 10. Hall sensor; 11. Photo diode No. 1; 12. Crank; 13. DC motor; 14. Single-chip system; 15. Connecting rod; 16. Guide rail; 17. Slider; 18. Push rod

图1 漏播补偿系统结构图

Fig.1 The structure diagram of compensation system

2 漏播补偿控制系统设计

2.1 控制系统的功能

控制系统的结构如图2所示,系统主要由检测系统、补偿系统及显示和声光报警模块等组成。检测系统主要实现对托种勺位置和薯种有无的检测功能。补偿系统通过控制电机的转动来实现精确补种的功能。显示和声光报警模块实现播种数、漏播数、补播数的统计和补偿系统故障提示的功能。

2.2 漏播补偿系统的设计

2.2.1 传感器的选型与安装 位置传感器用来检测托种勺的位置。由于托种勺的运动速度比较快,位置传感器的工作环境恶劣,本系统采用 HE16 型霍尔传感器来检测托种勺的位置,该型传感器是一种新型差动开关式霍尔传感器,具有结构简单、形体轻小、频率响应宽、动态特性好、与被测对象无接触以及寿命长等优点。霍尔传感器10安装在距护板顶端 46 mm 靠近补种箱的一侧,磁钢4装在托种勺上靠近霍尔传感器安装位置的一端,托种勺运动过程中,磁钢与霍尔传感器之间的最小距离约 8 mm 。该传感器的输出端连接到单片机的 PD2 口。

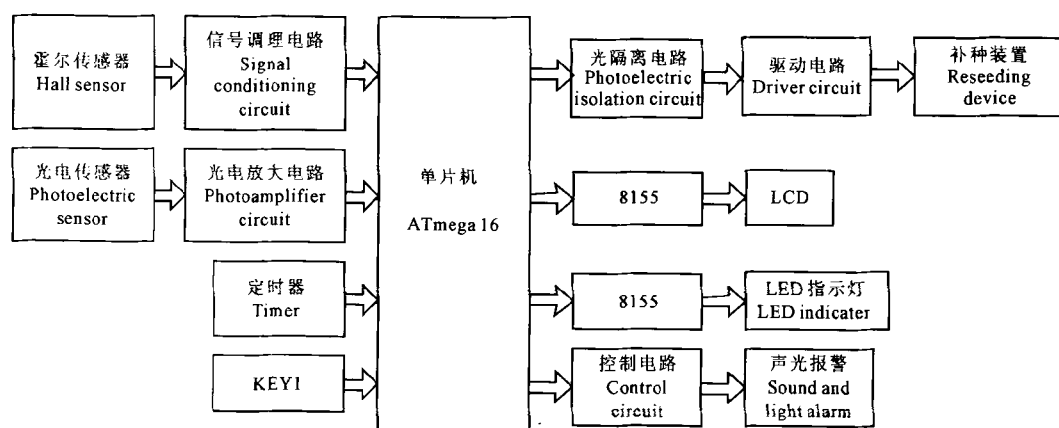


图 2 电控系统框图

Fig. 2 The block diagram of electronic control system

位置传感器检测到托种勺到达其安装位置后,将该检测信号传送至单片机,单片机向检测托种勺上无薯种的光电传感器 1 的红外接收二极管 11 发送一个高电平,使其开始检测工作。如果被检测的托种勺上无种,单片机会给直流电机一个补种信号,直流电机带动补种机构工作,实现补种,但有时会因为补种机构故障或种箱排空而造成补种失败,为了使播种人员了解补种成功与否,需要在补种口安装光电传感器。光电传感器是以光为媒介传输电信号的一种电—光—电转换器件,它把接收管接收到的光的强弱变化转化为电流的变化以达到检测的目的。由于光电开关输出回路和输入回路是光电隔离的,所以它可以在许多场合得到应用^[19-21]。考虑到环境光线及热源的影响和检测模块强抗干扰、高可靠性的要求,选用红外光电传感器作为检测托种勺上无薯种和补种机构补种成功与否的传感器。两套传感器均选择红外发射二极管作为红外发射器,红外接收二极管作为红外接收器。为了达到既简化系统设计又能准确检测漏播的目的,本系统的光电传感器 1 和光电传感器 2 均采用两发四收方式来分别检测托种勺上无薯种和补种成功与否。光电传感器 1 的两个红外发射管水平等距离装在护板外侧,四个红外接收管呈“一”字等距离装在护板内侧,发射管与接收管保持在同一水平面上。光电传感器 2 的发射管和接收管垂直布置在补种口位置。光电传感器 1 和光电传感器 2 的输出端分别连接到单片机的 PD5、PD4 口。

2.2.2 直流电机的选用 直流电机是一种数字控制电机,具有控制简单的特点,可以实现启动、制动、正反转和顺序控制。主要通过脉宽调制(PWM)来调节电机的转速,通过修改程序中的延时时间来调节电机转动的时间,因此非常适合由单片机控制。

为了使系统在出现漏播时瞬时启动,没有滞后性且线性度较好,选择了斯达尔星牌的 SDDM-55ZYT 型直流永磁电机,其额定工作电压是 12 V,额定转速 $6\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,峰值转矩 $3\text{ N}\cdot\text{M}$,输出功率 20 W。选用 L298N 作为直流电机驱动器。L298N 与直流电机的连接接口电路如图 3 所示。L298N 的使能端 ENA、控制端 IN1 分别连接在单片机的 PD0、PD1 的 I/O 口上,直流电机的另一个控制端 IN2 接地。单片机将使能端 ENA 置 1 后,可以通过对控制端 IN1 的控制来实现电动机的旋转和制动。如图 4 所示,在曲柄盘上装有一复位弹簧,当托种勺上无种时,单片机使直流电机 IN1 端置高电平,电机按程序转动 $3/4$ 圈后停止转动,在复位弹簧的弹力作用下滑块回到最初的位置,为下一次补种做准备。

2.2.3 单片机控制系统设计 单片机是整个控制系统的核心部分,它应发挥数据的测量储存、数据的处理执行和组件控制命令发出的作用,应具有存储、I/O、定时及中断等功能。本系统选择 ATmega16 作为核心控制器,ATmega16 单片机是 ATMEL 公司生产的一款高性 8 位 AVR 单片机,内部带有功能强大的可编程定时和计数单元,通过编程可以很容易产生直流电机的驱动波形^[22]。由于其先进的指令集及单时钟周期指令执行时间,ATmega16 的数据吞吐率高达 1MIPS/MHZ,从而可以减缓系统在功耗和处理速度之间的矛盾。单片机的电路原理图如图 3 所示,在单片机的两个电源(AVCC、AREF)与地之间接两个大的电容,这是利用电容通交流阻直流的特性来屏蔽由外部干扰源、系统电源、输电线引起的噪声干扰^[23],从而保证直流电源的纯洁性。单片机接收来自传感器的信号,将信号处理后对直流电机发出指令,电机驱动补种机构补种。

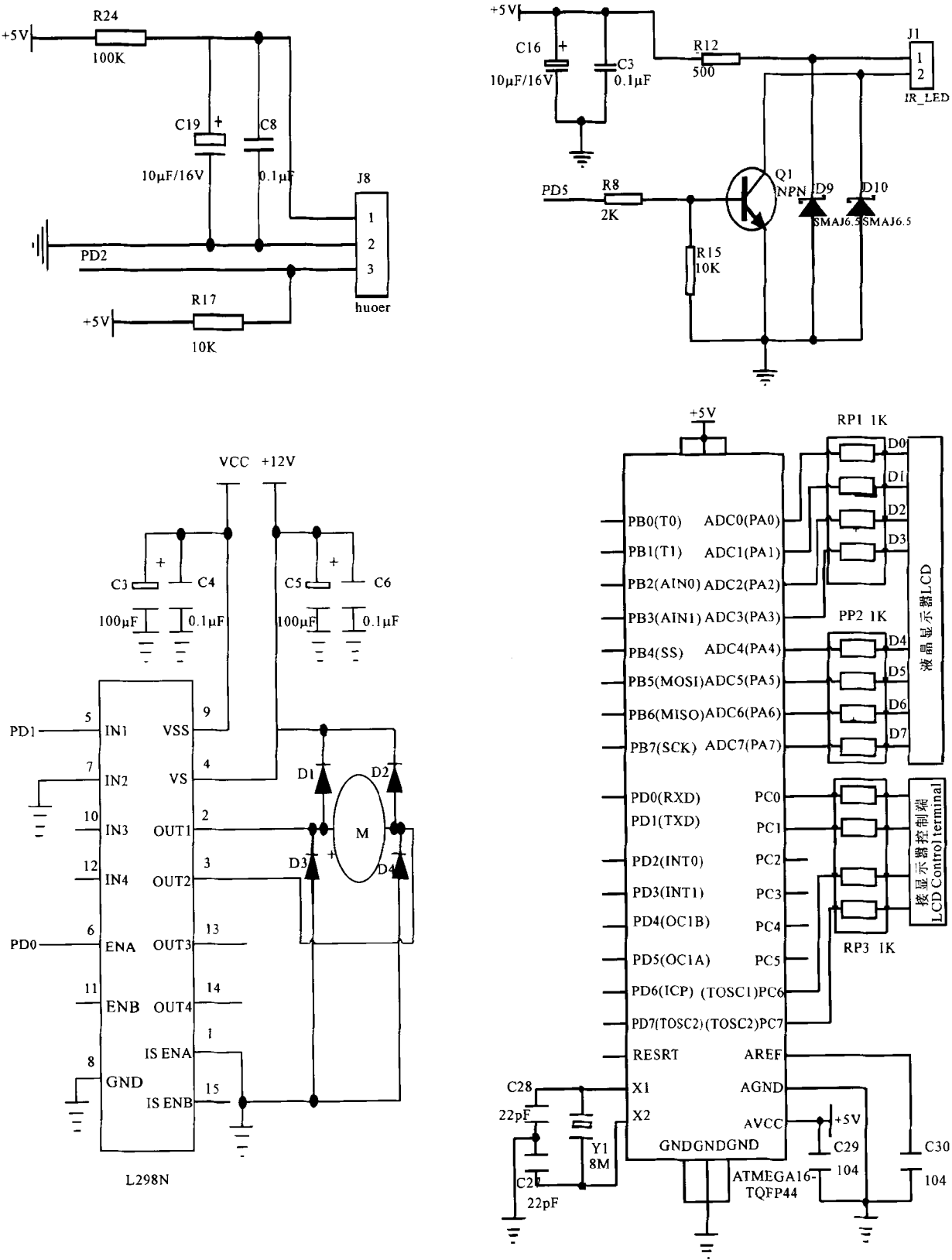


图 3 控制系统电路图
Fig.3 The circuit diagram of control system

2.3 显示及声光报警系统电路设计

为了统计并显示马铃薯播种机的正常播种数、

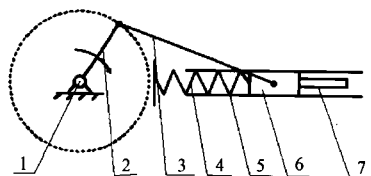
漏播数、补播数和理论播种数,本系统选用 SMC1604A 型液晶显示器,该显示器能显示 16 个字

符 X4 行的西文字符,并且能与单片机直接连接。为了使驾驶人员及时获知播种过程中的漏播补偿失败的信息,从而及时采取有效措施,设计了声光报警系统,当播种过程中出现漏播并且补种失败时,单片机将接收到来自光电传感器 2 的高电平,单片机给 PD3 口发送一个高电平,预警灯亮及蜂鸣器响,提示驾驶人员停车检修。

3 控制系统流程

控制系统流程图如图 5 所示,控制系统软件的主要功能是:对各个管脚上的脉冲进行累加,传感器的识别将二进制转换为十进制并通过显示器将播种

粒数显示出来,通过传感器产生的脉冲来判断系统是否出现故障,并在系统出现故障时进行声光报警。



注:1.直流电机的转轴;2.曲柄盘;3.连杆;4.回位弹簧;5.导轨;6.滑块;7.打击棒
Note: 1. Shaft of DC motor; 2. Crank disc; 3. Connecting rod; 4. Return spring; 5. Guide rail; 6. Slider; 7. Push rod

图 4 曲柄滑块补种机构示意图

Fig.4 The sketch map of slider-crank reseeding mechanism

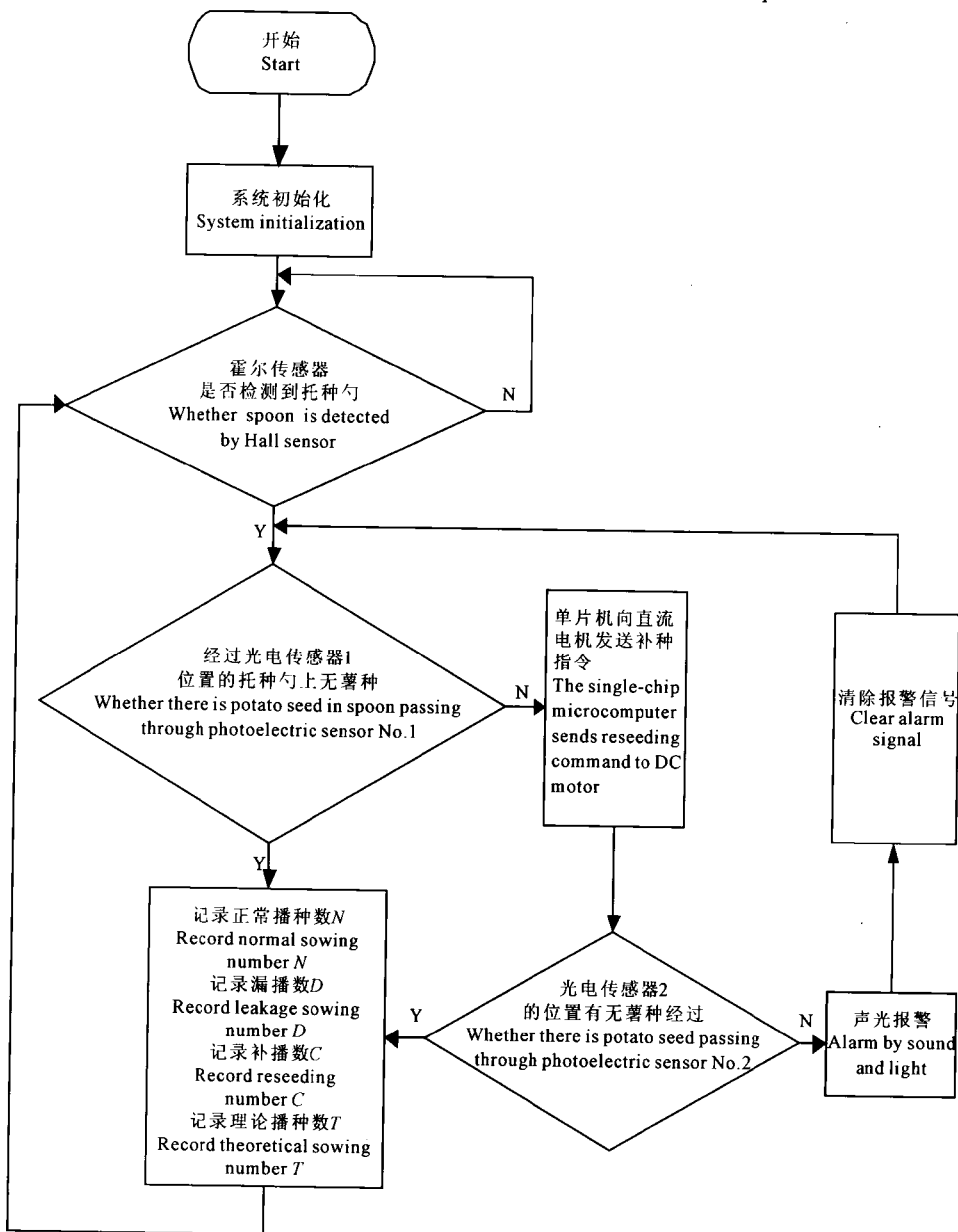


图 5 监测系统流程图

Fig.5 The flow chart of monitoring system

4 补种台架试验及结果分析

为了验证系统整体工作性能及工作可靠性,对漏播补偿系统进行了台架试验。

4.1 台架试验

4.1.1 试验设备 2CM-2 型马铃薯播种机试验台(如图 6 所示),包括马铃薯播种机漏播补偿系统,Thinkpad R400 笔记本 1 台,光电传感器,升运链速度显示器,切块薯若干,长、宽、高均为 30 mm 左右的种薯若干。

4.1.2 试验数据获取 通过 LCD 显示的内容得到统计的 4 项数据为:正常播种数 N 、漏播数 D 、补种数 C 、总播种数 T 。根据显示数据可得到:理论播种数: $N + D$, 正常播种率: $N / (N + D)$, 总播种率: $T / (N + D)$, 补种率: C / D 。

4.1.3 试验过程 (1) 启动计算机,将编好的程序通过 JTAG 程序烧写器烧写进单片机;(2) 按下 KEY1 键,漏播补偿系统进行自检;(3) 系统自检正常后接通漏播补偿系统电源、电机电源,调节升运链

驱动电机转速,观察并调整升运链运动的速度,使升运链的速度分别稳定在 $0.3、0.5、0.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,每个速度下进行 10 次试验,每次的播量控制在 300 ~ 500 粒之间,测定并记录各个速度下的试验数据。

4.2 试验结果及分析

试验测得的结果如表 1 所示。
根据表 1 中的实验数据可计算出三个速度下的正常播种率、补种率和总播种率,计算结果见表 2。
对表 2 进行分析后得出如下结论:若不加漏播补偿装置,播种机的正常排种率为 93%,漏种率为 7%。而安装漏播补偿装置之后,漏播率低于 1%,说明在勾链式马铃薯播种机上加装漏补偿装置能够显著降低播种过程的漏播率。补偿装置的补种率为 91%左右,并且补种率受播种速度变化的影响很小,说明系统是成功的。为测试声光报警系统的报警率及系统灵敏度,将升运链转速保持在 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,进行 30 次试验,试验结果表明:漏播报警率为 100%;系统灵敏度的平均值为 0.1356 s ;直流电机的启动与声光报警同步。

表 1 不同升运链运动速度下的试验数据
Table 1 The test data of different elevating chain velocity

试验号 Test number	0.3 m·s ⁻¹				0.5 m·s ⁻¹				0.8 m·s ⁻¹			
	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>T</i>
1	295	18	16	311	292	17	15	307	300	20	18	318
2	301	20	19	320	312	20	18	330	307	22	20	327
3	330	21	18	348	320	21	19	339	329	23	21	350
4	423	30	26	449	412	30	29	441	433	33	30	463
5	460	36	34	494	456	35	33	489	465	38	36	501
6	410	29	26	436	408	28	26	434	398	28	25	423
7	382	26	24	406	380	26	23	403	389	28	26	415
8	417	24	23	440	370	24	22	392	366	27	24	390
9	371	25	23	394	368	24	24	392	351	25	23	374
10	310	22	20	330	322	22	21	343	308	23	20	328

表 2 不同升运链运动速度下试验指标的平均值
Table 2 The average of test indexes in different elevating chain velocity

试验指标 Test index	0.3 m·s ⁻¹	0.5 m·s ⁻¹	0.8 m·s ⁻¹
正常播种率/% Normal seeding rate	93.60	93.68	92.95
补种率/% Reseeding rate	91.14	92.81	90.79
总播种率/% Total seeding rate	99.44	99.38	99.37

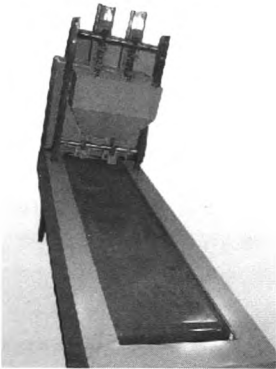


图 6 漏播补偿系统试验台
Fig.6 The test-bed of loss sowing compensation system

5 结 论

1) 系统以霍尔传感器、红外光电传感器作为播种监测传感器,灵敏度为 0.1356 s,声光报警系统的漏播报警率为 100%,能满足及时补种的需要。系统响应速度快、可靠性高、抗干扰能力强。

2) 系统补种率为 90%,补偿后的漏播率小于 1%,并几乎不受播种速度的影响。

3) 该漏播补偿系统可以应用在勾链式马铃薯播种机的多种机型上,每套系统之间相互独立,能够及时准确地完成多行播种的漏播检测及补种。

参 考 文 献:

- [1] 杜宏伟,尚书旗,杨然兵,等.我国马铃薯机械化播种排种技术研究[J].农机化研究,2011,33(2):214-217,221.
- [2] 周桂霞,张国庆,张义峰,等.2CM-2型马铃薯播种机的设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(3):53-56.
- [3] 刘小娟,张书,黄信兵.2CMFL-2型马铃薯种植机排种器的设计研究[J].农业机械,2008,25:48-49.
- [4] 李明金,许春林,李连豪,等.2CM-4型马铃薯播种施肥联合作业机的研制[J].黑龙江八一农垦大学,2012,24(1):14-16.
- [5] 李士军,宫鹤,顾洪军,等.具有自动补种功能的机械精密播种系统研究[J].吉林农业大学学报,2011,33(1):106-109.
- [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.
- [7] 胡少兴,马成林,张爱武,等.采用运动图像处理检测排种器充填性能[J].农业工程学报,2000,16(5):56-59.
- [8] 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.

- [9] 何培祥,杨明金,陈建,等.光电控制电磁振动排种器的研究[J].农业工程学报,2003,19(5):83-86.
- [10] 李洁,赵立新,毕建杰,等.小麦双线精播智能控制系统的设计[J].农业工程学报,2012,28(增刊1):134-140.
- [11] 金衡模,高焕文.玉米精播机漏播补偿系统设计[J].农业机械学报,2002,33(5):44-47.
- [12] 龚丽农,员玉良,尚书旗,等.小区播种机电控系统设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(5):122-126.
- [13] 李明,丁幼春,廖庆喜.气力式油菜精量排种器田间漏播检测方法[J].农业工程学报,2010,26(增刊):27-31.
- [14] 张锡智,李敏,孟臣.精密播种机智能监测仪的研制[J].农业工程学报,2004,20(2):136-139.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 张晓辉,赵秀珍,李法德,等.精密播种机工况自动监控及播量数显系统的研制[J].农业工程学报,1997,13(2):169-172.
- [18] 周桂霞,张国庆,张义峰,等.2CM-2型马铃薯播种机的设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(3):53-56.
- [19] 张晓辉.播种机工艺性故障自动监控系统的研制[J].农机化研究,1996,(4):31-33.
- [20] 焦俊生,储金字,马国斌.红外光电开关在杨树对靶喷雾机中的应用[J].农机化研究,2005,5(3):216-217.
- [21] 刘鹏,李小昱,王为.基于光电传感器和示踪法的径流流速测量系统的研究[J].农业工程学报,2007,23(5):116-120.
- [22] 史智兴,高焕文.光电传感器抗尘性能量化技术与应用[J].农业机械学报,2003,34(3):86-88.
- [23] 全迪,张禾.基于ATmega16单片机的通用电机控制装置的设计[J].新特器件应用,2010,12(7):1-4.
- [24] 刘海成.AVR单片机原理及测控工程应用—基于ATmega48/ATmega16[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008:210.

(上接第 212 页)

- [9] 王宏广.中国粮食问题、潜力、道路、效益[M].北京:农业出版社,1993.
- [10] 王宗明,张柏,宋开山,等.东北地区农业土地资源潜力评价模型及其应用[J].生态科学,2007,26(4):351-360.
- [11] 朱希刚.跨世纪的探讨:中国粮食问题研究[M].北京:中国农业出版社,1997.
- [12] 林毅夫.再与布朗谈粮食[J].经济论坛,2001,(5):16-17.
- [13] 周江梅,曾玉荣,吴越,等.福建省粮食生产潜力影响因素及需求情况分析[J].福建农业学报,2006,21(3):275-278.
- [14] 刘新卫,陈百明.黄土丘陵区安塞县县域粮食生产潜力及其开发[J].农业工程学报,2004,20(6):286-290.
- [15] 谢俊奇,蔡玉梅,郑振源,等.基于改进的农业生态区法的中国耕地粮食生产潜力评价[J].中国土地科学,2004,(4):31-37.
- [16] 曾希柏,陈同斌.中国粮食生产潜力和化肥增产效率的区域分异[J].地理学报,2002,(5):539-546.
- [17] Saaty T L. A new macroeconomic forecasting and policy evaluation method using the analytic hierarchy process[J]. Mathematical Modeling, 1987,9(3-5):219-231.
- [18] Saaty T L. How to handle dependence with the analytic hierarchy process[J]. Mathematical Modeling, 1987,9(3-5):369-376.

- [19] Saaty T L, Ozdemir M. Negative priorities in the analytic hierarchy process[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2003, 37(9-10):1063-1075.
- [20] 许树柏.层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [21] 杨春玲,张传芳.属性层次模型(AHM)在选股决策中的应用[J].大学数学,2006,22(5):27-30.
- [22] 李红鹰,王毅,孟昭明.层次分析法在农业生态环境质量评价中的应用[J].环境保护,2000,(7):30-31.
- [23] 王研,何士华.多目标层次分析法评价区域水资源可持续利用[J].云南水利发电,2004,20(1):5-8.
- [24] 刘奇志.层次分析的积因子方法与武器的作战能力指数公式[J].数学实践与认识,1997,(4):299-304.
- [25] 乔家君.改进的层次分析法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J].河南大学学报(自然科学版),2003,33(2):58-62.
- [26] 刘兴土,马学慧,等.松嫩平原退化土地整治与农业发展[M].北京:科学出版社,2001.
- [27] 李放歌,柏继云,赵红杰.层次分析积因子位次赋值数据权重研究[J].运筹与管理,2005,14(6):60-62.