

玉米播种深度智能调控系统研究

李玉环 孟鹏祥 耿端阳 何珂 孟凡虎 姜萌

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255000)

摘要: 针对目前玉米播种机播深控制装置多采用限深轮配合仿形机构,存在仿形精度差,播深一致性和稳定性难以保证等问题,从覆土、镇压确定种子土层土壤厚度(播种深度)的测控角度出发,设计了覆土-镇压联动监控装置,进而设计了该联动监控装置的智能控制系统,实现了播种深度的自动调控,保证了玉米播种深度一致性。该系统以MSP430单片机为控制中心,以试验所得镇压强度形成的专家系统为标准,以镇压系统上的压力传感器检测结果为手段,实现传感器检测结果与专家系统检测结果实时对比,不断调整作业过程覆土装置的覆土量,确保播种深度和镇压强度的稳定性和一致性。对该装置进行了响应时间检测试验,结果表明该控制系统的响应时间为0.58 s,且实际工作时响应时间要小于试验值。继而进行田间试验,结果表明,当播种作业速度为3~8 km/h时,播深合格率高于90%,且在高速作业时播种合格率明显优于机械仿形装置,有效提高了播种深度的一致性。

关键词: 玉米; 播种深度; 智能调控; 镇压强度

中图分类号: S223.2; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0062-07

Intelligent System for Adjusting and Controlling Corn Seeding Depth

Li Yuhuan Meng Pengxiang Geng Duanyang He Ke Meng Fanhu Jiang Meng

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Abstract: The current corn sowing depth is controlled by limit wheels and profiling mechanism that can only achieve the consistency of ditch depth and can not achieve the consistency of sowing depth. From the view of soil cover and compaction soil determining the thickness of the upper soil (sowing depth), the author developed cover-compaction soil monitoring system that can achieve automatic control of planting depth, ensure the consistency of corn planting depth, and establish the basement of the neat, complement, sturdy of the seedling. The system took MSP430 microcontroller as control center, expert system shaped from compaction strength by field experiment as standard, result from pressure transmitter of compaction soil system as a means, to realize the results from transmitter contrasting with the expert system. Then the machine can constantly adjust the cover soil system and the amount of overburden soil to ensure the stability and consistency of sowing depth and compaction strength. The working principle of cover-compaction soil control system is that when machine worked the pressure transmitter which was arranged on compaction wheel, it can constantly detect the pressure of the wheel, then the pressure data was imported to microcontroller memory and compared with the threshold which was arranged in expert system. If the data was within the range of the threshold, the sowing depth will be normal and the system will maintain the status quo. If the data was higher than the threshold, the sowing depth and compaction strength would be too large, it meant that the machine should reduce the sowing depth, then the microcontroller will send message to shorten the electric cylinder's length until the data under the standard value in order to reduce the amount of the overburden soil and vice versa. The author conducted

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-23

基金项目: 山东省科技计划项目(2014GNC112004)和山东省现代农业产业技术体系创新团队项目(SDAIT-01-022-10)

作者简介: 李玉环(1991—),男,硕士生,主要从事新型农业机械装备开发研究, E-mail: 18766964285@163.com

通信作者: 耿端阳(1969—),男,教授,主要从事新型农业机械装备开发研究, E-mail: dygxt@sdut.edu.cn

response time experiment and the result indicated that the response time of the system was 0.58 s and the actual response time was less than the experiment. Field experiment results showed that when machine's sowing speed reached from 3 km/h to 8 km/h, the qualified rate of sowing depth was higher than 90% and the sowing quality was better than that of profiling mechanism device, so the system effectively improved the consistency of sowing depth.

Key words: corn; sowing depth; intelligent control; compaction intensity

引言

玉米精密播种技术要求播种机能将玉米种子精确地播到土壤中预定的位置,即达到“一精三准”的效果:播量的精确控制,播种深度、播种株距和镇压强度比较准确^[1-4]。而在该技术要求中,播量精准和株距准确主要是由排种器的类型和控制方式实现;而播种深度和镇压强度作为影响玉米苗齐、苗全、苗壮甚至抗倒伏的主要因素,主要受到仿形效果、覆土量大小等多种因素影响,所以其检测和控制方式非常重要,但实现起来非常困难^[5-7]。

播种深度的控制主要通过仿形机构来实现。仿形机构的结构类型主要分为整体仿形和单体仿形,其中单体仿形实现了每一行的仿形,仿形效果要优于整体仿形。国内大多采用开沟深度被动调节方式,包括调节弹簧、平行四连杆或手动调节仿形部件与开沟器在竖直方向上的相对距离,来实现播种深度的一致性^[8-10]。对播种深度主动控制技术研究较少,主要通过控制播种单体的开沟深度来实现播种深度的自动控制。如文献[8]采用电液仿形控制技术替代了传统纯机械式仿形机构,提高了系统对地表起伏检测的准确性。文献[9]研究了免耕播种机开沟深度自控系统,设计了一种基于 ATmega128 单片机的开沟深度自控系统试验台,该试验台利用超声波传感器作为检测单元,实现了开沟深度跟踪控制。

国外播种深度控制技术兼有主、被动控制的方式,如 John Deere 公司生产的播种机上均在圆盘开沟器侧面有橡胶限深轮,利用被动控制技术控制圆盘开沟器开沟深度,实现播种深度的一致性^[9]; Amazone 公司采用超声波探测技术,在开沟器上安装超声波探测器,完成对开沟深度的实时检测,若开沟深度偏离规定值,通过液压系统调节,保证开沟深度一致^[10];WEATHERLY 等^[11]基于干燥面传感器(Drying front sensor, DFS)研制了主动式播种机播种深度自控系统,采用 DFS 检测土壤电阻以得到土壤含水率,再通过控制器、液压系统、调节机构等将圆盘开沟器调整至合适位置,确保种子播在土壤含水率合适的深度。

由于播种深度是种子上层土壤的厚度,主要受后期覆土和镇压影响^[12-14],为了提高播种深度控制的准确性,通过分析研究播深与镇压强度、覆土量的关系,优化出使种子播深一致的最佳镇压力和覆土量,设计播种深度自动调控系统,以实现播种深度的一致。

1 系统工作原理与播深调节机构

1.1 播深调节机构

将设计的覆土镇压联动控制系统安装在气力式播种机单体上,气力式播种机单体如图 1 所示。该单体主要包括开沟器、防堵立柱、排种器、机架、种箱、拉杆、电动推杆、覆土器、压力传感器和镇压轮等部分。本研究的覆土镇压联动监控装置主要由拉杆、压力传感器、电动推杆和镇压轮等组成,压力传感器安装在镇压轮上方,与镇压轮铰接;电动推杆一端与机架铰接,一端与覆土器铰接,覆土器另一端与机架通过拉杆进行铰接。工作时,压力传感器不断采集镇压轮的镇压力大小,将镇压力值传给单片机控制中心,再由单片机控制电动推杆的伸缩来改变覆土量的大小,以保证播种深度和镇压强度的一致性。

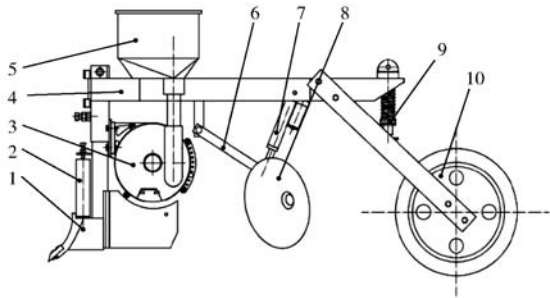


图 1 精密播种机单体结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of precision planter

- 1. 开沟器 2. 动力防堵立柱 3. 排种器 4. 机架 5. 种箱
- 6. 拉杆 7. 电动推杆 8. 覆土器 9. 压力传感器 10. 镇压轮

1.2 系统组成及原理

为了保证播种过程播种深度和镇压强度的一致性,本文以单片机为控制核心,以压力传感器为检测元件,以电动推杆为控制元件,以迪文 DGUS 液晶屏为显示元件,实现了镇压力的实时在线显示、播种深度实时调控的功能。

选用 MSP430 单片机为监控系统的控制中心,主要完成对传感器测得的数据处理和计算。MSP430 单片机是美国德州仪器(TI)公司生产的一种高性能 16 位超低功耗,具有精简指令集的混合信号处理器,具有价格低廉、控制功能强大、体积小、便于安装、应用灵活等优点。

目前能够实现播种深度检测的主要方式有直接检测和间接检测,如采用超声波传感器能够实现播种深度的直接检测,但是由于田间工作环境复杂,对其造成干扰的因素众多,如秸秆、飞扬的土块等杂物,所以导致该检测方式误差较大^[9];也有采用红外传感器进行播种深度检测的研究,但是由于该传感器受到光照强度的影响较大,且长时间工作后容易出现积尘影响检测的精度和效果,所以直接检测方式在应用中受到了很大的限制。其次为间接检测方式,即将播种深度的变化转化为压实力、镇压轮位置等变化量来实现播种深度的检测,该方式虽然结构较为复杂,但是由于其传感器不会受到光照、距离地表远近的影响,且可以将其封装在一个密闭空间,所以在实际应用中具有很大的优势。本研究选用以镇压轮压力为检测参数来实现播种深度的检测,即选用压力传感器对镇压轮压力进行测试,当该压力值超过设置阈值时,表明播种深度过大或者镇压强度过大,则采用减少覆土量的方法调整播种深度和镇压强度;当检测压力小于该设定阈值时,则采用增加覆土量的方法来增加播种深度和镇压强度;进一步为了减少外界环境对检测结果的影响,将该传感器封装在一个密闭的腔体内,从而提高了检测结果的准确性。

考虑不同土壤、含水率以及工作环境可能导致镇压力的变化,所以作业前需要对该环境下满足农艺要求的镇压力进行测试,进而将其作为设定阈值,本系统利用迪文 DGUS 液晶屏作为操作装置,实现预置压力的输入和调整,便于机手依据作业环境和要求完成对镇压力的输入和输出工作。整个控制系统结构如图 2 所示。工作时,首先对作业环境进行镇压力测试,得到满足播种深度要求的镇压力值,进而将该测试结果通过迪文 DGUS 液晶屏输入系统内的专家系统数据库;作业过程中,由置于镇压轮拉杆上端压力传感器不断检测镇压轮的压力大小,并将该检测压力输入单片机的存储器内,与系统内专家系统内预置的压力阈值不断进行比较,如果该检测值处于设置阈值范围内,则表示播种深度正常,系统保持现状继续工作;当压力检测值大于设置阈值上限时,则表示播种深度过大、镇压强度过大,需要减小播种机的播种深度,单片机发出指令,缩短连接于

覆土器上的电动推杆,以减小作业过程的覆土量,直到检测压力值处于设定阈值范围为止;当压力检测值小于设置阈值下限时,则表示播种机的播种深度、镇压强度不够,需要增加播种深度,控制中心(单片机)发出指令,电动推杆伸长,以增加播种机作业过程的覆土量,直到压力检测值处于设定阈值范围为止。

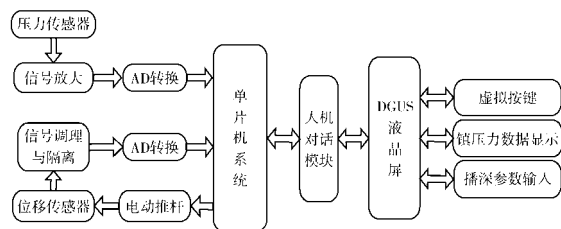


图2 控制系统结构框图

Fig.2 Structue diagram of control system

另外,为了保证机手随时掌握播种机的作业情况,方便机手根据作业要求随时调整相关控制参数,减少外界环境对本系统的干扰,本检测系统的迪文 DGUS 液晶屏设置于拖拉机的驾驶室内,可实现作业参数和检测参数的实时显示,为机手决策提供参考数据。

1.3 镇压轮压力与覆土量关系分析

由于土壤类型、含水率以及工作环境存在差异,不同工作环境下同一播种深度的镇压力值不同,通过检测试验发现,同一工作环境下,镇压力的大小与覆土量的多少成正比关系,即覆土量增加,镇压力也随之增大。考虑控制系统工作的可靠性,将压力调节分为 3 级,当压力值超过上限阈值覆土器位置自动上移,减少覆土量;当压力值超过下限阈值覆土器位置自动下移,增加覆土量;当压力值位于上限阈值和下限阈值之间,不需要调整。使得播种深度和镇压力大小始终处于最适范围内。

2 控制系统硬件设计

硬件是控制系统的基础,是提高系统运行效率和稳定性的关键,在开发系统之前,必须依据系统检测对象、设置功能、软件可靠性要求等选定相关硬件。本装置的硬件部分主要包括传感器、安装结构、控制电路等。

2.1 镇压力测量模块设计

压力传感器是一种将被测件上的应变变化转换成一种电信号的敏感器件^[15-19]。为了准确获取镇压力值,本设计选用 ZNHBM-300KG 型压力传感器,该传感器被封装在专门制作的优质不锈钢材质金属外壳中,直径 7 mm,总高 5 mm,其主要技术参数见表 1。该压力传感器的驱动电路如图 3 所示。

表 1 ZNHBM-300KG 型压力传感器主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of the ZNHBM-300KG pressure sensor

参数	量程	精度	输出	供电	环境
	/kg	/%	电压/V	电压/V	温度/℃
数值	300	0.1	3	12	±25

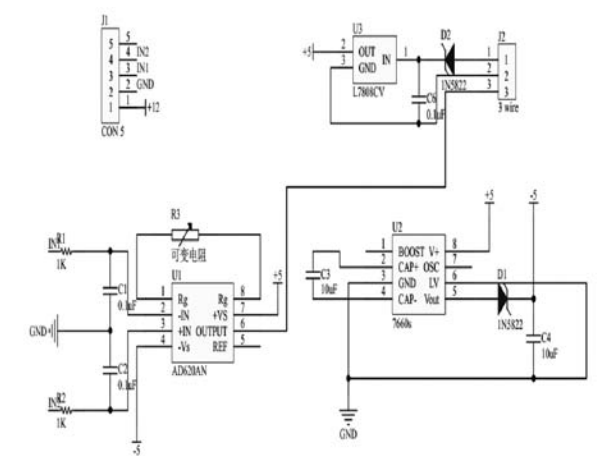


图 3 压力传感器电路图

Fig.3 Pressure transmitter circuit

2.2 播种深度和镇压强度联动控制系统设计

由于播种深度是指种子上层土壤的厚度,该厚度与镇压强度有关,主要取决于覆土量的大小,为了实现播种深度的调控,必须实现覆土量的改变。本系统采用电动推杆改变覆土器位置的方式来实现覆土量大小的变化,开发了播种深度和镇压强度联动监控装置,主要包括覆土器、电动推杆、镇压轮、压力传感器和微处理器控制系统等。其原理为当传感器探测到镇压轮上的压力小于设定阈值下限时,电动推杆驱动覆土器向下运动,增加覆土量;当压力大于设定阈值上限时,电动推杆驱动覆土器向上运动,减少覆土量;当压力处于设定阈值范围时,电动推杆停止动作,保持覆土器的位置,从而实现播种深度和镇压强度的联动控制。其中镇压力测量系统硬件电路图如图 4 所示,覆土器控制系统硬件电路图如图 5 所示。

2.3 电动推杆驱动电路设计

电动推杆作为本研究的主要控制机构,其作用是通过伸缩量的改变来控制覆土器的覆土量,以达到播种深度的一致性。图 6 为电动推杆的驱动电路图,由于电动推杆的供电电压为 12 ~ 24 V,单片机电源为 3.3 V,故单片机不能直接连接到电动推杆上,本文采用继电器光耦隔离的方式,对电动推杆的电源供电隔离,可以避免电动推杆电源对单片机系统电源供电的干扰,提高系统稳定性。其只需要 2 个 IO 口即可控制一个电动推杆完成伸长或者缩短

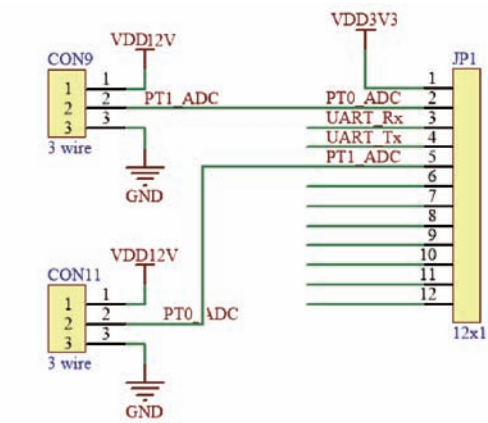


图 4 镇压力测量系统硬件电路图

Fig.4 Hardware circuit diagram of compaction pressure measurement system

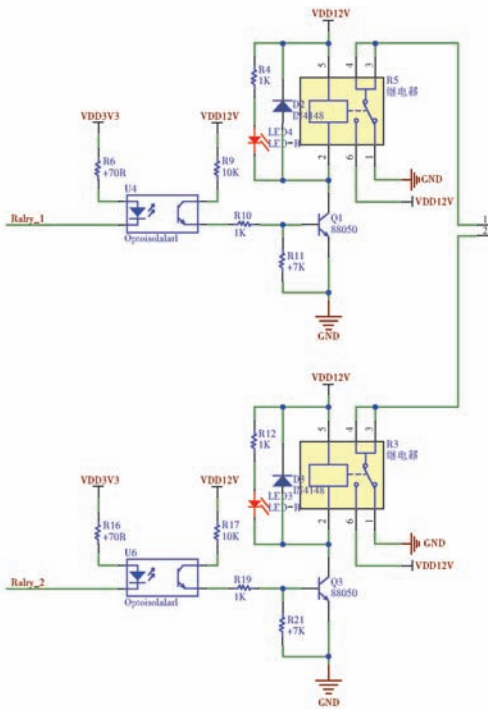


图 5 覆土器控制系统硬件电路图

Fig.5 Hardware circuit diagram of soil covering device control system

指令。

2.4 人机对话模块设计

为了方便驾驶员根据作业要求随时调整相关控制参数,选用北京迪文科技有限公司生产的 DMT80600T080_22W 型液晶显示屏,它采用基于 K600 + 内核的 DGUS 软件,该软件具有功能强大、可靠性好、稳定性好、连接线路简单等优点,主要作用是对镇压力大小实时显示,方便驾驶员对镇压力大小的控制。

根据该触摸屏的性能参数,可知该触摸屏的串口模式有 TTL/CMOS 和 RS232 串口。目前单片机的通信方式主要有串口通信与并口通信。其中并口通信方式速度快,但占用的 IO 口多,信号线多,而串

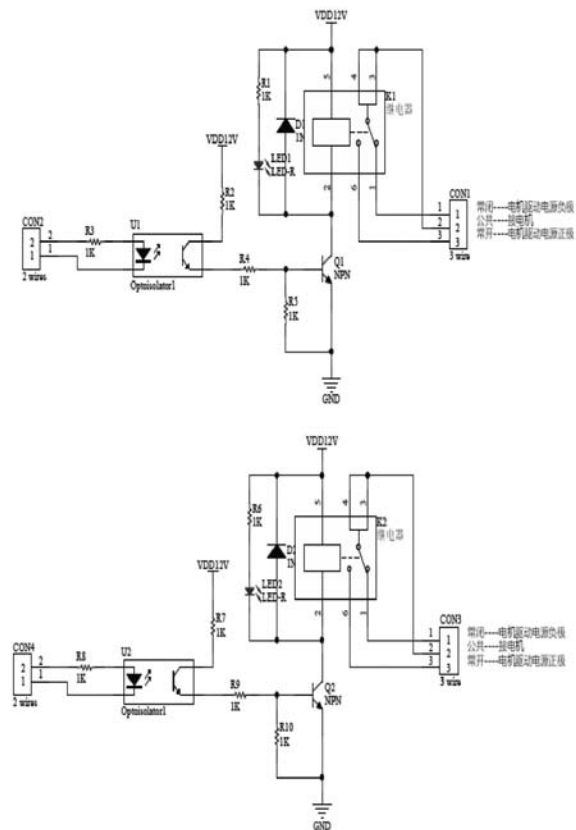


图 6 电缸驱动电路图

Fig. 6 Electric cylinder drive circuit diagram

口通信占用 IO 少且 MSP430 系列微控制器都自带串行通信口, 输出电平在 0 ~ 3 V 左右。因此 MSP430 系列微控制器与触摸屏采用串口通信方式, 将触摸屏串口模式串口电平跳线选择: ON。其电路连接图如图 7 所示。

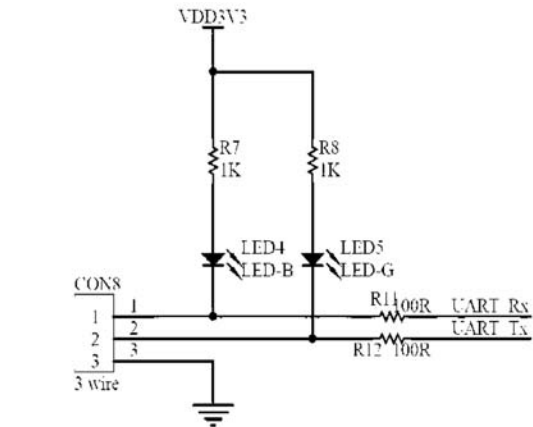


图 7 触摸屏通信电路图

Fig. 7 Touch screen communication circuit diagram

3 控制系统程序设计

覆土器与镇压联动测控程序主要包括镇压压力测量与电动推杆驱动两部分。其中镇压压力的大小主要依靠安装于镇压轮上部的压力传感器测得, 当镇压压力发生变化时, 压力传感器会产生相应的

电压信号值, 单片机系统通过内部 ADC 模数转换, 并通过读取相应的电压值来判断镇压压力值。电动推杆驱动主要通过单片机上的两个 IO 口来控制。由于电缸工作电压高于 3.3 V, 在硬件模块中, 单片机对电缸的控制主要是通过光耦隔离和继电器间接控制。故本文采用两个 IO 即可实现对电动推杆的伸长和缩短。

其工作过程为: 单片机系统首先读取触摸屏输入的镇压压力参数值, 其次压力传感器定时对镇压压力进行采集, 并将采集的压力值发送给单片机系统, 单片机系统通过对接收到的压力值与上限阈值和下限阈值进行比较, 当采集到镇压轮上的镇压压力大于设定上限阈值时, 表明覆土量过大, 单片机发出指令由电动推杆使覆土器位置自动上移, 减少覆土量, 以保证镇压轮上的压实力恢复到设定阈值范围; 当镇压轮上的镇压压力小于设定下限阈值时, 表明覆土量不足, 则单片机控制中心发出指令, 由电动推杆使覆土器位置自动下移, 增加覆土量, 以保证镇压轮上的压实力恢复到设定阈值范围。其流程图如图 8 所示。

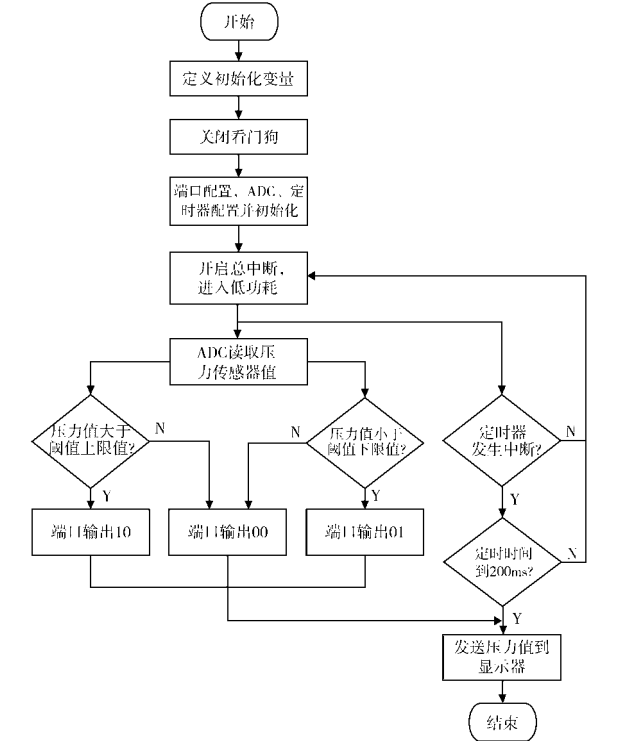


图 8 覆土镇压联动测控子程序流程图

Fig. 8 Flow chart of monitoring and control sub program of soil covering device and suppression linkage

4 试验

4.1 系统的响应时间测试

为了保证覆土镇压联动系统的工作可靠性, 首先对覆土镇压联动系统进行了系统响应时间检测试验。覆土镇压控制系统的响应时间主要是由压力传

传感器数据采集、单片机运算时间以及电动推杆反应时间组成。其中压力传感器数据采集、单片机运算是在系统扫描周期内完成的,系统的扫描周期设为2 ms,在分析系统响应时间时可以忽略不计,因此本研究的响应时间即为电动推杆的反应时间。由于本系统是利用电动推杆控制覆土器的伸缩来改变覆土量大小,电动推杆的伸缩速度和动态载荷成反比,测得电动推杆伸缩时间,即为本装置的响应时间。

4.1.1 测试方法

为了测得电动推杆的反应时间,首先对覆土装置入土深度进行试验研究。试验发现,当覆土器入土深度 d_1 小于播种深度 d 时,不会产生刮种现象,由图9可知电动推杆伸缩量 L 为

$$L = d_1 / \cos\alpha \tag{1}$$

式中 α ——电动推杆与垂直面的安装角,取 30°

研究发现,玉米播种深度一般在30~50 mm,因此这里控制覆土器入土深度为30 mm,即电动推杆的伸缩量程为34.6 mm。

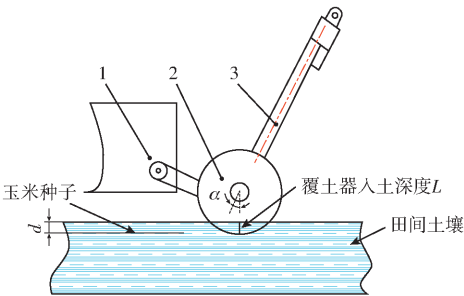


图9 覆土镇压联动控制示意图

Fig.9 Diagram of cover-compaction soil linkage controlment

1. 开沟器 2. 覆土器 3. 电动推杆

将本试验装置安装在气力式玉米播种机单体上,如图10所示,在大田环境下进行测试,利用单片机编辑控制程序,该程序发出信号开始计时,至电动推杆伸缩量程达到34.6 mm时停止,将此时间记为系统的响应时间。



图10 覆土器与镇压联动监控装置

Fig.10 Soil covering device and suppression linkage measurement and control device

4.1.2 测试结果

从单片机发出信号开始,至电动推杆动作停止,

测得响应时间为0.58 s。

实际的工作环境中,为了满足播种深度的一致性和镇压强度的一致性,首先要设置最优的镇压力阈值,当镇压力偏离阈值时,单片机会产生控制信号,控制电动推杆伸缩,使得镇压力在最优阈值内。研究发现,实际工作过程中,只要对覆土器进行微调即可满足播种要求,因此该系统的实际响应时间要远低于试验所得值,确保了覆土镇压联动监控装置的工作可靠性。

4.2 田间性能试验

4.2.1 试验条件和方法

试验时间:2015年8月15—20日。

试验地点:山东省德州市德农农业机械有限公司试验田。

试验装置:装有本控制系统的2BYM-2型气吸式精密播种机,试验装置如图11所示。



图11 田间试验

Fig.11 Field experiment

试验方法:将系统安装在2BYM-2型气吸式精密播种机上,作业行数2行,另外一单体采用机械式平行四杆仿形系统,将开沟器入土深度预定为4 cm。随机选取3个测区,测区长度10 m,拖拉机速度稳定后匀速通过试验区,播种机通过后,测量试验区内的种子播深,测定播深时,将开沟器推出的松散土壤刮掉,以垄体的初始平面为测量基准,拖拉机作业速度3~8 km/h,在不同作业速度下重复测量播深。

土壤环境:试验地为壤土,前茬为玉米保护性耕作,测定0~5 cm深度土壤含水率为16.8%,土壤容积密度1.1 g/cm³,种床平均坚实度2.4 N/cm²,茬高12~18 cm,留茬行间内有少量植物残株、残叶。

4.2.2 试验结果分析

分别对两行播种深度进行测量计算,并进行对比,试验对比结果如表2所示。

综合分析试验数据,对比机械仿形装置和覆土镇压联动装置可知,本装置可以对地表起伏和土壤

表2 田间对比试验结果
Tab.2 Field contrast test results

参数	方式	作业速度/(km·h ⁻¹)			
		3.1	4.2	5.1	6.12
平均播深/mm	联动控制	41	39	41	42
	机械仿形	42	38	33	29
播深合格率/%	联动控制	95.0	94.5	92.6	91.5
	机械仿形	85.0	82.5	81.7	69.9
播深变异系数/%	联动控制	21	26	32	36
	机械仿形	31	35	45	60

坚实度的变化产生灵敏的反应,当播种作业速度为3~8 km/h 时,播深合格率高于90%,且在高速作业时播种合格率明显优于机械仿形装置,确保了播种质量。

5 结论

- (1)从覆土、镇压确定种子上层土壤厚度(播种深度)的测控角度出发,设计了覆土-镇压联动监控装置,进而设计了该联动监控装置的智能控制系统,实现了播种深度的自动调控,为播种深度自动控制装置的设计研究提供了新方法。
- (2)对该装置进行了响应时间检测试验,结果表明该控制系统的响应时间为0.58 s,且实际工作时响应时间要小于试验值。
- (3)田间试验结果表明:当播种作业速度为3~8 km/h 时,播深合格率高于90%,且在高速作业时播种合格率明显优于机械仿形装置。

参 考 文 献

1 WEN Liping, FAN Xiongfei. The design and development of the precision planter sowing depth control system [J]. Sensors & Transducers, 2014, 162(1): 53–58.

2 郝飞,杜建民,张守德,等. 2BQM-6 型免耕播种机设计及播种深度控制研究[J]. 农机化研究,2015,37(12):110–113,117.

HAO Fei, DU Jianmin, ZHANG Shoude, et al. The research of structural design and sowing depth control for 2BQM-6 type gas suction no-till planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(12):110–113,117. (in Chinese)

3 黄东岩,朱龙图,贾洪雷,等. 基于压电薄膜的免耕播种机播种深度控制系统[J]. 农业机械学报,2015,46(4):1–8.

HUANG Dongyan, ZHU Longtu, JIA Honglei, et al. Automatic control system of seeding depth based on piezoelectric film for no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(4):1–8. (in Chinese)

4 ANTHONIS J, MOUAZEN A M, SAEYS W, et al. An automatic depth control system for online measurement of spatial variation in soil compaction, part 3: design of depth control system [J]. Biosystems Engineering, 2004, 89(1): 59–67.

5 MOUAZEN M, ANTHONIS J, SAEYS W, et al. An automatic depth control system for online measurement of spatial variation in soil compaction, part 1: sensor design for measurement of frame height variation from soil surface[J]. Biosystems Engineering, 2004, 89(2): 139–150.

6 林静,钱巍,李宝筏,等. 2BG-2 型玉米垄作免耕播种机播种深度数学模型的仿真与验证(英文)[J]. 农业工程学报,2015,31(9):19–24.

LIN Jing, QIAN Wei, LI Baofa, et al. Simulation and validation of seeding depth mathematical model of 2BG-2 type corn ridge planting no-till planter[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9):19–24. (in Chinese)

7 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,2013,46(增刊1):56–60.

WANG Zhenhua, LI Wenguang, ZHAI Gaixia, et al. Monitoring system of pneumatic notillage sower based on PIC singlechip microcomputer control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 46(Supp. 1):56–60. (in Chinese)

8 王熙,张海玉,赵军,等. 大豆播种机电液仿形机构研究[J]. 农机化研究,2010,32(1):227–229.

WANG Xi, ZHANG Haiyu, ZHAO Jun, et al. Research of electro-hydraulic profiling institutions of soybean seeder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(1):227–229. (in Chinese)

9 蔡国华,李慧,李洪文,等. 基于 ATmega128 单片机的开沟深度自控系统试验台的设计[J]. 农业工程学报,2011,27(10):11–16.

CAI Guohua, LI Hui, LI Hongwen, et al. Design of test-bed for automatic depth of furrow opening control system based on ATmega128 single chip microcomputer[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10):11–16. (in Chinese)

10 赵涵俊. 装在开沟器上的超声波探测器[J]. 粮油加工与食品机械,1989(1):43.

ZHAO Hanjun. An ultrasonic sensor attached to the opener[J]. Machinery for Cereals, Oil and Food Processing, 1989(1): 43. (in Chinese)

11 WEATHERLY E T, BOWERS JR C G. Automatic depth control of a seed planter based on soil drying front sensing[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(2): 295–305.

12 温丽萍,张永,范雄飞,等. 基于 PLC 的精密播种机播种深度控制系统研究[J]. 农机化研究,2014,36(2):98–101.

WEN Liping, ZHANG Yong, FAN Xiongfei, et al. The research of precision planter sowing depth control system based on PLC [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(2):98–101. (in Chinese)

- 10 籍颖,刘兆祥,刘刚,等. 基于卡尔曼滤波农用车导航定位方法[J]. 农业机械学报,2009,40(9):13-17.
JI Ying, LIU Zhaoxiang, LIU Gang, et al. Positions research of vehicle navigation system based on Kalman filter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(9): 13-17. (in Chinese)
- 11 Ti Inc. SN65HVD1050 data sheet[EB/OL]. (2010-01-19) [2016-01-22]. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/sn65hvd1050.html>.
- 12 Luminary Micro, Inc. LM3S8962 microcontroller data sheet[EB/OL]. (2010-01-19) [2016-01-22]. <http://www.luminarymicro.com>.
- 13 NXP Inc. KMA199E product data sheet [DB/OL]. (2012-2-10) [2016-1-22]. http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/KMA199E_1.pdf.
- 14 Analog Devices, Inc. ADIS16300 Datasheet [EB/OL]. (2009-04) [2010-01-28]. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADIS16300.pdf.
- 15 DARR M J, STOMBAUGH T S, SHEARER S A. Controller area network based distributed control for autoums vehicles [J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(2): 479-490.
- 16 吴晓鹏. 东方红拖拉机转向伺服控制系统设计[D]. 广州:华南农业大学,2011.
WU Xiaopeng. Steering control system design for Dongfanghong - X804 tractor [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- 17 安秋,姬长英,周俊,等. 基于CAN总线的农业移动机器人分布式控制网络[J]. 农业机械学报,2008,39(6):123-126.
AN Qiu, JI Changying, ZHOU Jun, et al. Distributed control network for CAN-based autonomous agricultural robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 123-126. (in Chinese)
-

(上接第68页)

- 13 牛金亮,林静,邢作常,等. 免耕播种机液压式加载仿形深度控制系统设计[J]. 农机化研究,2013,35(12):101-104.
NIU Jinliang, LIN Jing, XING Zuochang, et al. Design of profiling potato stem chopping machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(12): 101-104. (in Chinese)
- 14 楚杰,路海东,薛吉全,等. 玉米宽窄行深旋免耕精量播种机田间试验及效果[J]. 农业工程学报,2014,30(14):34-41.
CHU Jie, LU Haidong, XUE Jiquan, et al. Field experiment and effect of precise mechanical sowing of maize based on wide-narrow row deep rotation and no-tillage technology[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 34-41. (in Chinese)
- 15 刘佳,崔涛,张东兴,等. 玉米种子分级处理对气力式精量排种器播种效果的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(9):109-113.
LIU Jia, CUI Tao, ZHANG Dongxing, et al. Effects of maize seed grading on sowing quality by pneumatic precision seed-metering device. [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 109-113. (in Chinese)
- 16 苑严伟,张小超,吴才聪,等. 玉米免耕播种施肥机精准作业监控系统[J]. 农业工程学报,2011,27(8):222-226.
YUAN Yanwei, ZHANG Xiaochao, WU Caicong, et al. Precision control system of no-tillage corn planter[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 222-226. (in Chinese)
- 17 王侨,陈兵旗,杨曦,等. 用于定向播种的玉米种穗图像精选方法[J]. 农业工程学报,2015,31(1):170-177.
WANG Qiao, CHEN Bingqi, YANG Xi, et al. Corn ears image selection method for directional seeding[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(1): 170-177. (in Chinese)
- 18 刘长青,陈兵旗,张新会,等. 玉米定向精播种粒形态与品质动态检测方法[J]. 农业机械学报,2015,46(9):47-54.
LIU Changqing, CHEN Bingqi, ZHANG Xinhui, et al. Dynamic detection of corn seeds for directional precision seeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2015, 46(9): 47-54. (in Chinese)
- 19 侯彦龙,徐丽明,陈莉明. 玉米机械化定向播种技术的现状和发展趋势[J]. 农机化研究,2012,34(2):10-14.
HOU Yanlong, XU Liming, CHEN Liming. The current situation and development trend of corn mechanization oriented seeding technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(2): 10-14. (in Chinese)