

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.09.032

一种变量施肥技术的实现及其台架试验*

刘阳春 张小超 伟利国 李福超 李卓立

(中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室,北京 100083)

【摘要】 采用单片机作为CPU,结合压力传感器、AD采集卡以及伺服电动机,设计了变量配肥施肥控制系统,同时设计与硬件配套的上位机软件,用来采集数据与发送命令,台架试验表明,该系统能实现变量配肥施肥,且结构简单,施肥精度达到95%。

关键词: 变量施肥 控制系统 台架试验

中图分类号: S127 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)09-0159-04

Design and Experiment of a Variable Rate Fertilization Control System

Liu Yangchun Zhang Xiaochao Wei Ligu Li Fuchao Li Zhuoli

(State Key Laboratories in Areas of Soil-plant-machine System Technology,
Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The control technique of variable rate fertilization is introduced. Using single chip microcomputer as CPU, a control system of variable rate fertilization was designed, including force sensor, AD data acquisition system and servo-actuator. An assorted software was designed for selecting data and sending commands. Through test-bed experiment and analysis, the system can complete the control of variable rate fertilization, which has a simple structure, stable operation and high , fertilization precision up to 95% .

Key words Variable rate fertilization, Control system, Test-bed experiment

引言

变量施肥要求能根据不同地区、不同土壤类型以及土壤中各种养分的盈亏情况,作物类别和产量水平,将N、P、K和多种可促进作物生长的微量元素与有机肥加以科学配方,从而做到有目的施肥^[1-7]。国内有不少人对精准变量施肥技术进行了研究,研制的施肥机在GPS的帮助下可以按照预先设计的处方图进行变量施肥,但是,对于施肥过程中的实际施肥量和施肥流量不能进行监控和微调,本文采用传感器对肥箱内肥料料量以及料斗内肥料料量进行测量,将实际施肥量以及施肥流量反馈给上位机,形成一个闭环控制系统,并通过试验证明其可

行性。

1 变量施肥机械结构

变量施肥试验样机的工作行数为3行,有3个肥箱,3个肥箱排肥器的转速分别由3个伺服电动机控制,以改变各自的施肥量,伺服电动机采用日本安川SGMJV-04A型,额定功率400W,额定扭矩1.27N·m,额定转速3000r/min,伺服电动机输出轴端连接一个减速比为1:40的减速电动机,以提高电动机扭矩。每个肥箱使用4个压力传感器支撑架起,控制系统根据压力传感器的实时测量值以及力传感器测得的施肥流量值来控制伺服电动机转速,进而控制施肥量。

收稿日期:2009-12-04 修回日期:2010-02-26

* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10A305)和“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A17)

作者简介:刘阳春,博士生,主要从事精准农业和机电一体化研究, E-mail: lyc327@163.com

通讯作者:张小超,研究员,博士生导师,主要从事农业机械自动控制与智能化仪器研究, E-mail: zxc@caams.org.cn

2 变量施肥控制系统

变量施肥控制系统如图 1 所示,单片机系统通过 AD 采集卡获取两路信号,即肥箱内的肥料料量和出料口处料斗内的肥料料量,并通过 RS232 串行通讯将信息发送给上位机,上位机结合处方图以及这两路反馈信号,通过计算得到精确的施肥量,并将其发送给单片机系统,单片机系统执行命令,对伺服电动机进行速度控制,进而控制排肥器转速,实现变量施肥控制。

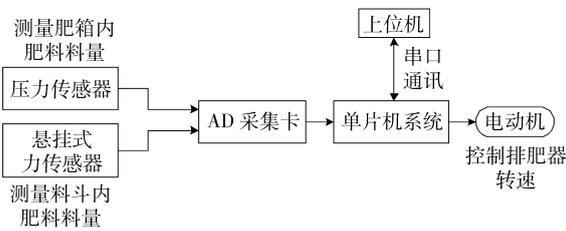


图 1 系统设计结构图

Fig. 1 Structural diagram of the system

根据系统要求,整个控制系统由压力传感器、AD 采集卡、单片机系统、伺服电动机 4 个部分组成。

2.1 压力传感器

每个肥箱采用 4 个满量程 150 kg 的 BK-2F 型压力传感器(航空气动力技术研究院)支撑,肥箱内肥料料量的变化就会引起压力传感器信号的变化。单片机系统进行信号采集时,对压力传感器的信号值进行加权平均,以消除肥箱内肥料不均或肥箱倾斜对传感器测量结果造成的影响,经试验证明,效果理想。传感器的安装方式如图 2 所示。

每个肥箱出料口处的料斗通过 BK-5B 型悬挂式力传感器与肥箱连接,因此传感器能够检测实时的施肥量。悬挂式力传感器安装如图 3 所示。

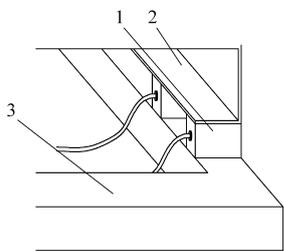


图 2 压力传感器安装图

Fig. 2 Force sensor installation diagram

- 1. 压力传感器 2. 肥料箱
- 3. 施肥机台架

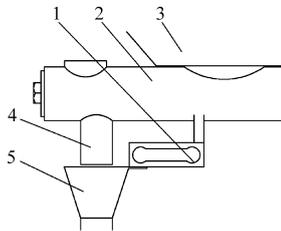


图 3 悬挂式力传感器安装图

Fig. 3 Hanging force sensor installation diagram

- 1. 悬挂式力传感器 2. 排肥器
- 3. 肥料箱 4. 出料口
- 5. 料斗

2.2 AD 采集卡

AD 采集卡的核心芯片是 AD 公司的一款低成

本的 16 位 A/D 转换芯片 AD7706,该芯片采用 $\Sigma - \Delta$ A/D 转换技术,实现 16 位无丢失代码性能,并达到 0.003% 非线性。AD7706 内部具有 3 个准差分模拟输入通道,多路模拟切换开关、缓冲器和高达 128 倍可编程放大器,其 A/D 转换功能部分由 $\Sigma - \Delta$ 调制器和数字滤波器组成^[8]。内部还有时钟发生器和串行接口,能够方便的与单片机的串行接口进行数据传输。

AD 采集卡的硬件电路图如图 4 所示。

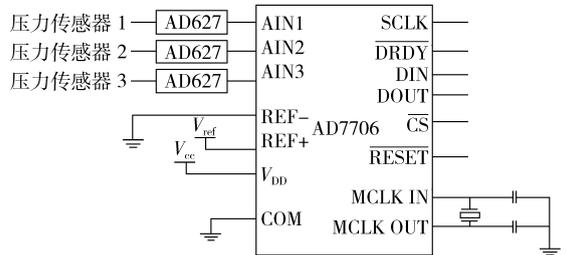


图 4 AD 采集硬件电路图

Fig. 4 Sketch map for the AD acquisition

2.3 单片机系统

单片机系统的主要功能有:控制 AD 采集卡采集转换压力传感器电压信号;与上位机进行数据传输;通过 PWM 模块产生脉冲对排肥量控制电机进行位置和速度控制。其功能框图如图 5 所示。

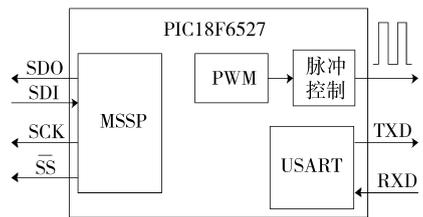


图 5 单片机功能框图

Fig. 5 Functional block diagram of the MCU

单片机系统采用的主芯片是 PIC18F6527,它是 Microchip 公司推出的一款增强型 8 位单片机,采用精简指令集(RISC)的设计,有两级流水线,最高运行频率可达到 10 MI/s,能够满足系统对实时性的要求;指令总线 16 位宽,数据总线 8 位宽;单片机内部有 48 K 字节的 FLASH 程序存储器,3 936 字节的数据存储器和 1 024 字节的 EEPROM,便于系统的扩展;自带 8 × 8 硬件乘法器;中断资源丰富,提供 18 个中断源,两个中断优先级,并且中断优先级可配置。PIC18F6527 单片机配备了丰富的外围模块,极大地简化了单片机外围电路的设计。同时, Microchip 公司为 PIC18F 系列单片机提供了功能强大的指令集,共 77 条指令,绝大部分指令为单字(2 个字节)存储,单周期执行,应用代码的存储压缩率高,指令执行效率高。

单片机系统通过 SPI 接口与 AD 采集卡进行数

据传输。SPI(serial peripheral interface——串行外设接口)总线系统是一种同步串行外设接口,它可以使MCU与各种外围设备以串行方式进行通信以交换信息。外围设置FLASHRAM、网络控制器、LCD显示驱动器、A/D转换器和MCU等。该接口一般使用4条线:串行时钟线(SCK)、主机输入/从机输出数据线SDI、主机输出/从机输入数据线SDO和低电平有效的从机选择线SS。SPI接口是在CPU和外围低速器件之间进行同步串行数据传输,在主器件的移位脉冲下,数据按位传输,高位在前,低位在后,为全双工通信,数据传输速度总体来说比I²C总线要快,速度可达到几兆比特每秒^[9]。

单片机系统与上位机之间是通过RS232串行接口来进行数据传输的,单片机串行口是一个可编程的全双工串行通信接口,通过软件编程可做通用异步接收和发送器UART用,也可做同步移位寄存器用。其帧格式可有8位、10位和11位,并能设置各种波特率,在使用上很灵活方便^[10]。

2.4 系统软件

系统软件包括上位机控制软件和单片机执行软件。上位机控制软件从单片机读取肥料箱中料量数据,对数据进行相应的处理后,结合事先存储好的地块中机具点位置的施肥量数据,计算出伺服电动机的转速,最后发送命令给单片机,图6给出了上位机控制软件的操作界面。

单片机软件主要包括AD采集与脉冲输出。上电或复位AD7706后,配置单片机的SPI接口。单片机与AD7706之间的数据交换为双向同步串行通

信方式。AD7706的DIN接收来自单片机的命令,通过DOUT将转换后的结果传送给单片机。将通信寄存器的DRDY设置为低电平来接收单片机的信息,通信频率设为2 Mb/s,设置AD7706更新频率为50 Hz,即-3 dB的截止频率为13.1 Hz,增益放大倍数为1。单片机通过设置PWM模块的寄存器,能够输出不同频率的脉冲^[9]。



图6 上位机控制软件操作界面

Fig.6 Operation interface of the control software

3 台架试验

施肥样机台架试验在室内完成,主要有静态试验和动态试验。静态试验对压力传感器进行标定,动态试验是针对电动机的控制精度。

静态试验时,记录肥箱空载质量值,然后往肥箱中搁置不同质量的标准砝码,记录压力传感器的称量值,进行分析处理,得到压力传感器的称量误差。加载的各次称量值如表1所示,计算各次加载误差如表2所示。

表1 加载的各次称量值
Tab.1 Weighing value of each loading

肥箱	加载量					
	空载	5	10	20	40	80
1	95.568 8	100.568 8	105.568 9	115.568 9	135.569 1	175.622 1
2	90.998 8	96.004 8	101.010 9	111.022 9	131.046 9	171.094 6
3	96.197 5	101.201 6	106.205 8	116.214 2	136.230 9	176.157 9

表2 各次加载的误差
Tab.2 Measurement error of each loading

肥箱	加载量				
	5	10	20	40	80
1	0	0.000 1	0.000 1	0.000 3	0.053 3
2	0.006 0	0.012 1	0.024 1	0.050 8	0.095 8
3	0.004 1	0.008 3	0.016 7	0.033 4	0.039 6

经过计算可知,压力传感器的最大称量误差为0.15%。

系进行了标定,在上位机程序中对电动机的转速设立了低、中、高三个挡位,分别对应电动机转速17、35、70 r/min,标定数据如表3所示。

然后给其中1个肥箱装入流动性好的颗粒状肥料尿素,肥料在施用前没有明显结块。施肥机行走过程中通过车轮转速测量传感器,可以实时获得施肥面积,根据实验室具体情况,将施肥面积预设为301.56 m²,即土槽车来回行走一趟。预设施肥量后,启动电动机,当压力传感器的肥箱称量差值达到预设施肥量后,电动机自动停止运行,这时,称量实

动态试验时,首先对电动机转速与排肥量的关

际排肥量值,与预设施肥量值对比即可得到电动机的控制精度,也即施肥精度。试验数据如表4所示。

表3 电动机转速与排肥量值

Tab.3 Motor speed and the real fertilizing amount

肥箱	肥料	电动机转速 /r·min ⁻¹	排肥量 /kg·min ⁻¹
1	尿素	17	0.91
		35	1.74
		70	3.34
2	磷酸二胺	17	0.82
		35	1.65
		70	3.12
3	硫酸钾	17	0.74
		35	1.50
		70	2.98

表4 施肥预设值与排肥量值

Tab.4 Predetermined and the real fertilizing amount

预设值 /kg·hm ⁻²	理论 施肥量/kg	实际 排肥量/kg	误差 /kg	精度 /%
400	12.062 4	11.90	0.162 4	98.65
500	15.078 0	15.49	0.412 0	97.39
600	18.093 6	17.93	0.163 6	99.10
800	24.124 8	23.77	0.354 8	98.53
900	27.140 4	26.70	0.440 4	98.38
1 000	30.156 0	30.25	0.094 0	99.69

4 结束语

结合压力传感器、AD采集卡、单片机以及伺服电动机设计了一个变量施肥控制系统,并通过试验验证了这一系统的可行性。

参 考 文 献

- 王新忠,王熙,王智敏. 精准农业与变量施肥技术[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2002,14(4):25~27.
Wang Xinzhong, Wang Xi, Wang Zhimin. Precision agriculture and variable fertilization technique [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2002, 14(4): 25~27. (in Chinese)
- Parish R L. Effect of rough operating surface on rotary spreader distribution pattern[J]. Applied Engineering in Agriculture ASAE, 1991, 7(1): 61~63.
- 林昌华,唐群峰,唐树梅,等. 自动变量施肥技术的研究与应用现状[J]. 华南热带农业大学学报,2006,12(2):76~79.
Lin Changhua, Tang Qunfeng, Tang Shumei, et al. The research and application prospect of precise fertilization techniques [J]. Journal of China University of Tropical Agriculture, 2006, 12(2): 76~79. (in Chinese)
- 邵利敏,王秀,牛晓颖,等. 基于PLC的变量施肥控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(11):84~87.
Shao Limin, Wang Xiu, Niu Xiaoying, et al. Design and experiment on PLC control system of variable rate fertilizer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 84~87. (in Chinese)
- 张书慧,马成林,吴才聪,等. 一种精确农业自动变量施肥技术及其实施[J]. 农业工程学报,2003,19(1):129~131.
Zhang Shuhui, Ma Chenglin, Wu Caicong, et al. Development and application of a variable rate fertilizer applicator for precision agriculture [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(1): 129~131. (in Chinese)
- 王秀,赵春江,孟志军,等. 精准变量施肥机的研制与试验[J]. 农业工程学报,2004,20(5):114~117.
Wang Xiu, Zhao Chunjiang, Meng Zhijun, et al. Design and experiment of variable rate fertilizer applicator [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 114~117. (in Chinese)
- 邵陆寿,戴之祥,崔怀雷,等. 基于模糊控制的变量施药控制系统[J]. 农业机械学报,2005,36(11):110~112.
Shao Lushou, Dai Zhixiang, Cui Huailei, et al. Study on a pesticide system spraying with changeable quantity based on fuzzy control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 110~112. (in Chinese)
- 吴镇扬. 数字信号处理的原理与实现[M]. 南京:东南大学出版社,2001.
- 洪志全,洪学海. 现代计算机接口技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- 张迎新,雷道振,陈胜,等. 单片微型计算机原理、应用及接口技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- 马忠梅,籍顺心,张凯,等. 单片机的C语言应用程序设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998.