

精确农业自动变量施肥机控制系统设计与实现

张书慧¹, 马成林¹, 杜巧玲¹, 聂昕², 吴才聪¹, 韩云霞¹

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 长春供电公司, 长春 130025)

摘要: 设计制造了一个以 AT89C52 单片机为中心的自动变量施肥控制系统。该系统接收 GPS 位置信号, 以此判断施肥机所在的操作单元, 通过监测施肥机的前进速度和读取存储在 IC 卡上的施肥量来控制施肥机上的排肥轴的转速, 实现实时自动变量施肥。试验结果证明: 该系统可将 GPS、GIS、传感器信息和决策数据等信息综合处理, 在施肥机前进速度为 4.5 ~ 5.5 km/h, 施肥量在 200 kg/hm² 以上时, 能够使步进电机工作转速在 33~91 r/min 范围内, 施肥机排肥平均误差为 4.22%。

关键词: 精确农业; 变量施肥; GPS; GIS; IC 卡; 单片机; 角度/数字编码器; 控制系统

中图分类号: TP7; S147.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0113-04

0 引言

按处方施肥的自动变量施肥机实现自动控制精确施肥分两步完成^[1]。即首先用 GPS 接收机沿耕作地块的边界行走, 得到耕作地块边界点的位置(边缘轮廓轨迹)数据。将该记录数据输入计算机, 得到耕地边界的电子地图。经处理后导入地理信息系统 GIS(在此使用的是 Mapinfo Professional 6.0)中, 对耕作地块进行操作单元划分和网格编码与命名。建立该耕作地块的土壤养分信息数据库, 与施肥专家系统结合, 进行施肥决策。由于不便将计算机直接用于田间施肥作业, 因此目前选用小巧、便捷存储介质 IC 卡存储由 GIS 和专家决策支持系统做出的决策数据。第二步, 将存有耕作地块编码和施肥决策数据的 IC 卡插入该控制系统中, 当施肥机在田间进行施肥作业时, 由施肥机上的 GPS 接收机接收来自卫星的定位信息。这个位置信息经 RS-232 串口输入到控制器中。根据 GPS 的位置信号, 判断施肥机所在的操作单元, 由此调用施肥决策信息去触发和控制施肥机的排肥轴转速, 以达到根据位置及其相应土壤条件进行自动变量施肥的目的。本文介绍实现田间自动变量施肥的控制系统原理与实现过程。

1 控制系统组成与工作原理

控制施肥的因素除了所在操作单元的施肥量外, 还有当前机具行进速度。各个操作单元的施肥量由专家决策系统给出。机具行进速度由监测施肥机地轮运转的转速传感器获得。单片机 89C52 作为系统中央处理芯片, 接收 GPS 定位信号, 根据 GPS 定位信息通过对操作单元的识别获取存储于 IC 卡内的专家施肥决策数据。同时, 读取地轮转速传感器反馈的施肥机行进速度。将目

前机具速度与获取的决策数据综合运算, 得出控制排肥轴转速的控制脉冲。系统主体框架如图 1 所示。

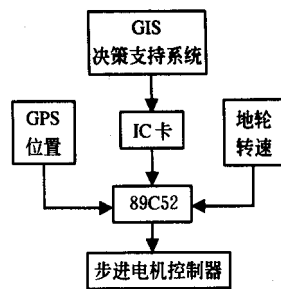


图 1 系统主体框架

Fig 1 The control system block

由图 1 知系统的输入信息有 3 部分: GPS 位置信息、专家决策信息和施肥机前进速度。

1.1 DGPS 定位信息

本系统选用 Trimble 公司的 AgGPS132 接收机, 它是用于农业的 DGPS 系统。最多可同时锁定 12 颗卫星。观测值为 C/A 码伪距, 定位精度在 1m 以内。Trimble 公司的 AgGPS132 接收机的数据格式为 NMEA-0183。NMEA-0183 数据以语句方式传送, 每一句均以“\$”符号作为开始标志, 其后为对话者标志(Talker ID), 本语句标志(sentence ID), 接着是一连串由逗号分割的数据。由于本系统只需要接受 GPS 的定位信息, 因此读取 NMEA-0183 中的 GPGGA 语句(即 GPS 定位数据格式)。语句结构如下: \$GPGGA, 080931.00, 4350.983182,N, 12519.855573,E, 1, 03, 2.9, 244.31, M, 12.16,M, , *6E。在这一条 GGA 语句中有 15 个字段。其中: 080931.00 是 UTC 时间; 4350.983182,N, 表示是北纬 43 度 50.983182 分; 12519.855573,E, 表示东经 125 度 19.855573 分; 1 表示 GPS 工作方式是在单点工作方式; 03 表示当前跟踪的卫星数量; 2.9 是 HDOP 值(平面位置精度因子); 244.31,M, 表示海拔, 单位为 m; 12.16,M, 表示高于 WGS84 椭球体大地水准面高度; 由于使用单点 GPS 工作, 所以第 13 字段为空; *6E 代表基站 ID 号。这里设定 RS232 串口数据通讯协议为: 接收波特率为 9600bit/s, 数据为 8bit, 无奇

收稿日期: 2003-05-22 修订日期: 2003-11-13

基金项目: 吉林省科委项目(编号: 吉科合字第 20000201-3-1 号)

作者简介: 张书慧, 副教授, 长春市 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室, 130025

通讯作者: 马成林, 教授, 博士生导师, 长春市 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室, 130025

偶校验位, 1 位开始位, 1 位停止位。

在 GPS 接收机工作时, 因为单片机 89C52 能够接受处理的是 TTL 电平信号, 需要将 RS232 电平与 TTL 电平转换, 利用 MAX232S 芯片实现单片机与 GPS 接收机的通讯电平转换。通过读取其中的 GGA 语句中的第 3、5 字段, 得到当前施肥机位置信息。

1.2 存储在 IC 卡存储施肥数据

由于地理信息系统 GIS 与专家决策支持系统存储的数据量大, 对运行环境要求高。目前还不能离开计算机走出实验室。这就给实施精确农业变量施肥的田间作业带来了不便。而 IC 卡是一种既具备智能型又便于携带的卡片, 是现代信息处理、传递的一种新手段。选用 IC 卡作为存储介, 可以解决控制系统的田间作业脱离计算机运行。将预先经专家系统处理好的数据存入 IC 卡, 并将 IC 卡作为接口设备与单片机相连, 就完成 GIS 专家系统与单片机连接。

变量施肥决策支持系统把该耕作地块的施肥决策数据以两段数据的形式存储在 IC 卡上, 供单片机读取: 耕作地块参数和施肥量数据。耕作地块参数是对耕作地块及其网格的说明, 如划分网格的基点坐标, 网格的水平倾角等。由于使用的是非加密 IC 卡, 所以工作中只区分 IC 卡是否有效。存储在 IC 卡上的数据格式如表 1。

其中, 耕作地块参数 x_0, y_0 是工作地块的基点位置坐标; p, q, s, t 是与地块相关的计算参数。对一个确定的地块, 这 6 个参数是常数。对 AT24C16 型 IC 卡, 其存储容量 16 kbits, 可以存储 1010 组数据。如果以 $20\text{ m} \times 40\text{ m}$ 为一个操作单元, 那么可以用于 80 hm^2 面积的地块。

表 1 IC 卡数据格式

Table 1 The data format in IC card		
字节	用 途	
引导区	1	标识符(设置为 0FFH)
	2~ 25	耕作地块参数 (x_0, y_0, p, q, s, t)
数据区	26~ 29	操作单元名称(A 1)
	30~ 35	施肥量(412)
	36~ 39	操作单元名称(A 2)
	40~ 45	施肥量(337)

1.3 施肥机前进速度的获取

机具前进速度由速度传感器获得(如图 2)。通过一个“角度- 数字编码器(Rotary Encoder)”把机具前进信号转化成脉冲信号, 输入给单片机控制施肥机的排肥量。本研究选用 OMRON 公司的 E6A 2-CW 3C 型角度- 数字编码器, 采用直流 5~ 12 V 电压, 脉冲发生率为 200 脉冲/转。角度- 数字编码器的输出线接到 89c52 计数器的输入引脚。CPU 每一秒钟读入一次计数器的值, 算出当前机具的行进速度。

2 控制曲线

2.1 施肥机每公顷施肥量

施肥机每公顷施肥量为



图 2 速度传感器及其安装位置

Fig 2 Velocity sensor and its fixed place

$$\frac{Q}{10000} = \frac{0.001q}{1000/60 \cdot v \cdot B \cdot N}$$

即:
$$Q = \frac{0.6q}{v \cdot B \cdot N} \tag{1}$$

式中 Q —— 每公顷施肥量, kg/hm^2 ; q —— 单个排肥器的排肥量, g/min ; v —— 机具前进速度, km/h ; B —— 施肥机行距, m ; N —— 排肥器个数。

2.2 排肥量与排肥轴转速的关系

排肥机构是利用步进电机通过传动机构驱动排肥器。假设不考虑排肥轴转速高时排肥量的非线性增加, 于是, 施肥量与机具前进速度成线性关系。那么单个排肥器的排肥量与排肥轴转速存在如下关系

$$q = k \cdot n + b \tag{2}$$

式中 q —— 单个排肥器的排肥量, g/min ; n —— 排肥轴转速, r/min ; k —— 标定拟合直线的斜率; b —— 标定拟合直线的截距。

对于不同类型和几何尺寸的排肥器, 排肥轴转速与排肥量之间都有不同的对应关系。因此, 在控制变量施肥的研究中, 必须对选定施肥器进行标定试验。标定使用复合肥(18%、15%、15%), 经曲线拟合得出对复合肥的排肥轴转速与排肥量关系的计算公式

$$q = 28.9n - 23.9 \quad (90 > n > 20) \tag{3}$$

2.3 排肥轴转速与每公顷施肥量、机具前进速度函数关系的确立

把(2)代入(1), 得

$$Q = \frac{0.6(k \cdot n + b)}{v \cdot B \cdot N} \tag{4}$$

得到排肥轴转速与每公顷施肥量、机具前进速度函数关系为

$$n = \frac{1.667Q \cdot v \cdot B \cdot N - b}{k} \tag{5}$$

其中, 本研究所用机具参数: $B = 0.64, N = 2$, k, b 是使用复合肥进行标定所得到的拟合曲线的直线的斜率和截距: $k = 28.9, b = -23.9$ 。

代入(5)得复合肥的排肥轴转速与每公顷施肥量、机具前进速度函数关系

$$n = \frac{2.133Qv + 23.9}{28.9}$$

3 操作单元识别与系统输出

3.1 操作单元识别^[2]

以某一已知点为基点根据田块参数(如网格宽度和高度、底边倾斜角度等),判断当前施肥机所在网格。

当前点的网格编号为

$$M = L \operatorname{int}[(y - y_0)p + (x - x_0)q] + 1 \quad (6)$$

$$N = L \operatorname{int}[(y - y_0)s - (x - x_0)t] + 1 \quad (7)$$

式中
$$p = \frac{\sin\beta - \cos\beta \cdot \tan\alpha}{mA \cdot R_{lat}},$$
$$q = \frac{\cos\beta + \sin\beta \cdot \tan\alpha}{mA \cdot R_{lon}},$$
$$s = \frac{\cos\beta}{mB \cdot R_{lat}}, \quad t = \frac{\sin\beta}{mB \cdot R_{lon}}$$

(x_0, y_0) 基点坐标, mA 、 mB 是网格宽度和高度, α 为地块边界与纬度方向夹角, β 为地块边界与经度方向夹角, R_{lon} 与 R_{lat} 是 1 m 对应的经纬度值, $L \operatorname{int}(x)$ 函数为向左取整函数。为了保证网格识别达到亚米级精度,要求耕作地块位置参数(单位: 分)小数点后有 5 位有效数字参与运算。由于大部分耕作地块的位置变化在经纬度方向上多不会有超过 1° 的变化,“德惠实验地块”如图 3 所示,其经度范围在 125° ~ 126° 之间,这时为简化单片机的运算,“度”的整数部分可以不参与运算,耕作地块纬度情况与此相同。

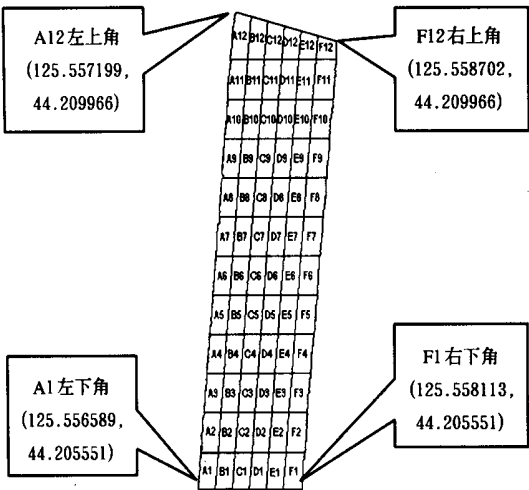


图 3 实验耕作地块操作单元图

Fig 3 The grid cells of experiment field

3 2 系统输出及控制流程

控制系统以步进电机为执行原件,由步进电机带动排肥轴转动。由于步进电机驱动电源具有脉冲分配和功率放大功能,因此,单片机系统输出的是单路脉冲信号。控制脉冲生成方法如下。

步进电机采用 4 相 8 拍工作方式,步距角为 0.75°; 则驱动步进电机转动一周所需的脉冲数 p ,

$$p = \frac{360}{0.75} = 480$$

89C52 的 T_0 以方式 1 定时,最大计数数值为 $2^{16} = 65536$ 。单片机的晶振频率是 12 MHz,一个机器周期 1 μs ,设定控制脉冲高电平的持续时间 0.5 ms。设: n ——排肥器转速, r/min; X —— T_0 计数初值(控制脉冲),则有

$$(65536 - X) = (\frac{1}{n} \times 60 \times 1000 - 0.5) \times 1000 \quad (8)$$

依式(8)计算 X , $T_0 = \operatorname{hex}(X)$,即为 T_0 的计数初值, hex 是由 10 进制转换成 16 进制函数。

为避免当步进电机启动时,输入的排肥量信号过大,使步进电机超载不能正常工作,在程序开始加上斜坡信号,使步进电机的转速分步增加。这样有利于克服各种原因引起的启动不利,即使在输入施肥量大的情况下,也能保证步进电机的正常工作。施肥机工作程序由汇编语言编写,其工作过程流程如图 4 所示。

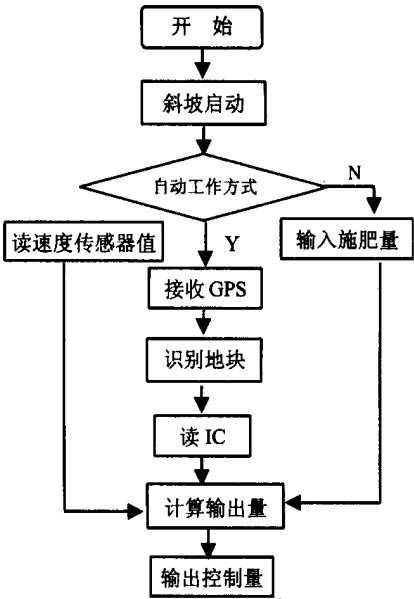


图 4 系统工作流程图

Fig 4 The flow chart of control system

4 控制精度研究

排肥精度实验选择在吉林大学生物与农业工程学院的农业工程实验室进行(图 5)。

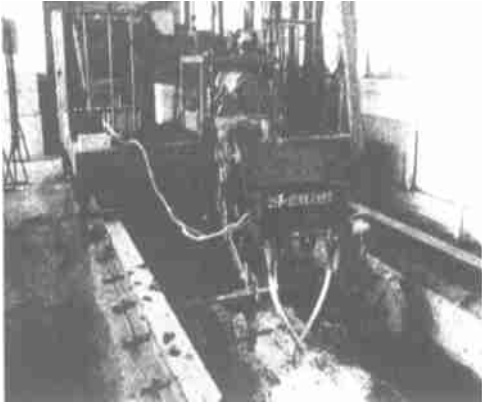


图 5 精度研究试验场地

Fig 5 The scene of accuracy experiment

利用土槽车带动施肥机模拟田间工作过程,试验测区长度 10 m。土槽车运动速度由可控硅的电枢电压控制。

对农村常用的复合肥进行了不同施肥量下施肥机行进速度对排肥轴转速影响和施肥精度的试验研究,研究了施肥机施用复合肥的输出误差分布。

在左、右排肥器轴向工作长度分别为 23、25 mm 状态下,对排肥器排出复合肥料共进行 6 个测试项目,分别是在给定施肥量 150、200、250、300、350、400、450 和 500 kg/hm² 输入条件下,测量不同行进速度下施肥机排肥轴转速控制工作情况,得出施肥机施用复合肥工

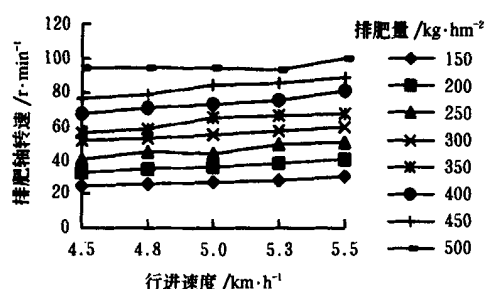


图 6 行进速度对排肥轴转速的影响

Fig 6 Influence of velocity on rotation speed

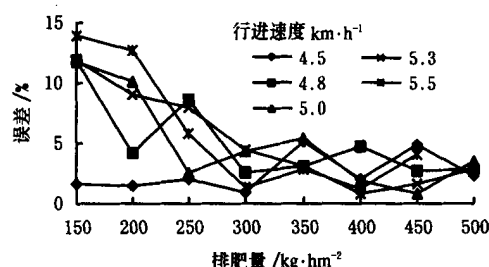


图 7 不同行进速度施肥机排肥误差分布

Fig 7 Error distribution of application fertilizer in different velocity

作性能曲线(图 6)。测得的施肥机行进速度与实际排肥量平均误差之间的数据分布。在给定的工作速度下,施肥器排肥输出误差见图 7。

从图 6 和图 7 可以看出:在施肥机前进速度为 4.5 ~ 5.5 km/h,施肥量要求在 200 kg/hm² 以上时,能够使电机工作在 30~91 r/min 速度下,施肥机排肥平均误差为 4.22%;同样机器前进速度下,如果施肥量减少,那么排肥输出精度会下降,如在 150~500 kg/hm² 施肥范围要求下,施肥精度降低到 5.07%;在 100~500 kg/hm² 施肥范围要求下,施肥精度降低到 5.97%。这是由于电机工作转速低,其线性较差的原故。

5 结 论

试验表明,变量施肥机能准确地识别所在地块网格名称和提取施肥量。网格识别算法程序固化在单片机上,当变量施肥机为其它地块施肥时,只需要更新地块的“耕作地块参数”和“施肥量”数据表,既对应不同地块用不同的 IC 卡,而不必修改单片机上的控制程序,实现控制程序通用化。

[参 考 文 献]

- [1] 张书慧,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.
- [2] 吴才聪,等.精确农业网格划分及其应用[J].农业工程学报,2003,19(1):137-140.
- [3] 金国雄,等.GPS 卫星定位的应用与数据处理[M].上海:同济大学出版社,1994,9.
- [4] (美)[S.B.戈恩里]Scott B. Gothery(美)[T.M.朱尔根森], Timothy M. Jurgensen 著 邵建平等著.见:智能卡开发者指南[M].北京:电子工业出版社,2000.
- [5] 李 华,孙晓民.MCS-51 系列单片机实用接口技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1993,8.

Design of control system of variable rate fertilizer applicator in precision agriculture

Zhang Shuhui¹, Ma Chenglin¹, Du Qiaoling¹, Nie Xin², Wu Caicong¹, Han Yunxia¹

(1. Bio-Agriculture Engineering College, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. Electrical Company of Changchun, Changchun 130025, China)

Abstract: A control system for variable rate fertilizer machinery with a single chip 'AT89C52' was designed and built. It received the positioning signal from GPS and identifies the operation cell where fertilizer machinery located in. By reading the signal of sensor of fertilizer machinery and the application rate of fertilizer of the operation cell stored in IC card, the system controlled the rotate velocity of fertilizer feed. Then the fertilizer mechanism could work automatically in real time. The experiment showed that the control system could synthetically process the signals of GPS, GIS, the sensor and the decision data. When the application rate of fertilizer was as more than 200 kg/hm² and the fertilizer machinery velocity was between 4.5 km/h and 5.5 km/h, the control system could make the fertilizer feed run at 33~91 r/min. The average error of the application rate of fertilizer was less than 4.22%.

Key words: precision agriculture; variable rate fertilizer; GPS; GIS; IC card; rotary encoder; control system