

# 基于传感器的变量施肥机定位方法<sup>\*</sup>

于英杰 张书慧 齐江涛 张林焕

(吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025)

**【摘要】** 简述了一种应用传感器代替 GPS 的变量施肥机定位方法。控制器读取传感器的脉冲信号, 计算施肥机的行走距离, 由自动网格识别算法实现施肥机自动网格识别。本文给出了传感器测距累积误差校正方法以提高定位精度。对于垄长为 40 m 的网格, 要使定位误差小于 6%, 累积误差应小于 2.4 m。实验结果表明, 经过校正, 拖拉机行走距离为 250 m 的时候, 光电编码器和接近开关传感器测距累积误差分别为 2.32 m 和 2.34 m (定位误差小于 6%)。如果在此定位误差条件下, 增加操作单元垄长方向划分的距离, 可满足更长地块作业的定位要求。

**关键词:** 变量施肥机 传感器 定位

中图分类号: S24

文献标识码: A

## Positioning Method of Variable Rate Fertilizer Applicator Based on Sensors

Yu Yingjie Zhang Shuhui Qi Jiangtao Zhang Linhuan

(College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

### Abstract

A positioning method of a variable rate fertilizer applicator with sensors is introduced, to replace GPS in precision agriculture. In the positioning system, the controller receives pulse signals from the sensor and calculates the working distance of the variable rate fertilizer applicator, thus the grid in which the fertilizer applicator is working is identified by the algorithm of automatic grid recognition. The accumulative error of the system from the sensor is corrected by the error revising algorithm, and the correction results were tested in field. The experiment results showed that the accumulative errors for the photoelectric encoder and the proximity transducer are 2.32 m and 2.34 m, within 250 m of working distance, respectively, i. e. the positioning errors is less than 6%. Under the above conditions, a variable rate fertilizer applicator can be applied in a larger working field if the working grid is divided longer.

**Key words** Variable rate fertilizer applicator, Sensor, Positioning

### 引言

DGPS(差分 GPS)定位精度高,但是高昂价格已成为其应用于农业领域的障碍。为此,研究人员探索了在保证导航定位精度的前提下降低 GPS 导航定位成本的研究<sup>[1~2]</sup>。但是,多种传感器的融合使得系统结构复杂,稳定性差。国外一些学者开展了脱离 GPS 的田间车辆导航定位方法的研究,其中

应用较多的是机器视觉技术<sup>[3~6]</sup>,但这种方法主要用于探测行间作物位置和为精确农业作业提供植被指数等作物生长信息。激光测距仪可以进行农业车辆导航<sup>[7]</sup>。这种传感器主要缺点是价格昂贵,限制了此技术在农田车辆自动化中的应用与开发。

本文提出用简单、低价的传感器代替 GPS 的变量施肥机定位方法,通过软件编程实现施肥机自动网格识别。

收稿日期: 2009-03-03 修回日期: 2009-05-05

<sup>\*</sup> 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10A309)、吉林省科技发展计划项目(20060213-3)和吉林大学研究生创新基金资助项目(20091017)

作者简介: 于英杰, 博士生, 主要从事精确农业机具定位及控制研究, E-mail: yuyingjie58@yahoo.com.cn

## 1 定位系统组成

定位系统由速度信号获取单元和控制器组成。控制器读取传感器脉冲信号,计算施肥机走过的路径距离,再根据已知的网格和地块参数推算出施肥机所在的操作单元。图1为定位系统工作框图。

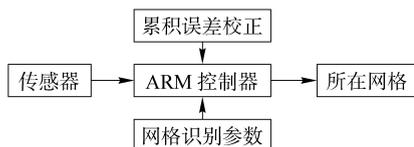


图1 定位系统工作框图

Fig.1 Diagram of positioning system

系统的工作原理是把车轮的旋转运动转换为车辆相对于地面的直线位移,使用了光电编码器和电感式接近开关2种传感器。光电编码器线数(每转1圈发出的脉冲数)为 $P$ ,与车轮同步转动,即车轮每转1圈,光电编码器就会输出 $P$ 个脉冲。车轮直径为 $D$ ,如果知道光电编码器输出脉冲数 $N$ ,车辆行走距离

$$S = \frac{N\pi D}{P} \quad (1)$$

电感式接近开关的振荡感应头接近金属物体时会发出1个脉冲,自制的塑料码盘上安有30个铁钉,和光电编码器以及车轮同步转动,接近开关用支架固定到拖拉机横梁上,车轮每转1圈,接近开关就会发出30个脉冲。同样由式(1)就可以计算出车辆行驶的距离。2种传感器的安装如图2所示。

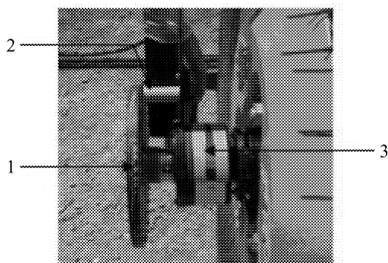


图2 光电编码器和接近开关传感器的安装

Fig.2 Setting of photoelectric encoder and proximity transducer

1. 接近开关码盘 2. 接近开关 3. 光电编码器

本文应用ARM微处理器<sup>[8]</sup>作为定位控制器。使用ARM微处理器的外部中断1和2分别接收光电编码器和接近开关传感器的脉冲信号,设置定时器4的定时周期为0.1s,每个周期ARM微处理器按式(1)计算一次车辆行走距离。

## 2 定位和网格识别

变量施肥针对的是垄长为直线的地块。以地块任意一个顶点作为原点,以地块垄长方向一边作为 $y$ 轴创建一个直角坐标系,如图3所示。

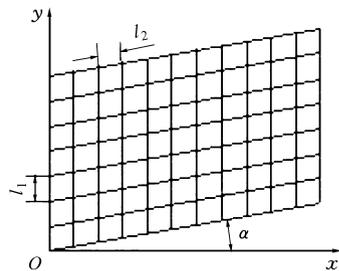


图3 施肥网格坐标图

Fig.3 Coordinates of fertilization gridding

将整个地块沿垄长和垄宽方向划分为等大小的若干个网格,每个网格垄长( $y$ 轴)方向长度为 $l_1$ ,垄宽方向长度为 $l_2$ ,地块垄宽方向与 $x$ 轴的夹角为 $\alpha$ (图3)。施肥机从 $O$ 点开始施肥,沿垄长方向每走过 $l_1$ 长度就查询一次当前网格对应的施肥量(作业前已存于FLASH芯片中)并进行变量施肥。推导出的施肥机自动网格识别公式为<sup>[9]</sup>:

$$\text{当 } F=1 \text{ 时} \quad M = \text{ceil}\left(\frac{S}{l_1}\right) \\ N = \text{ceil}\left(\frac{d(L+1)}{l_2 \cos \alpha}\right)$$

$$\text{当 } F=0 \text{ 时} \quad M = M_{\max} - \left(\text{ceil}\left(\frac{S}{l_1}\right) - 1\right) \\ N = \text{ceil}\left(\frac{d(L+1)}{l_2 \cos \alpha}\right)$$

式中  $\text{ceil}(x)$ ——向上取整函数,表示不小于 $x$ 的整数中最小的一个

$L$ ——机具的往返次数

$F$ ——规定从整块地块开始作业时的方向,正方向记为1,0代表反方向

$M$ ——施肥机具所在操作单元纵向序数

$N$ ——施肥机具所在操作单元横向序数

$M_{\max}$ ——操作单元最大行数

$d$ ——施肥机作业幅宽,m

当拖拉机要转弯时,由拖拉机驾驶员通过键盘控制施肥机暂时停止施肥,同时程序里 $F$ 自动由1变为0, $L$ 自动加1。 $M_{\max}$ 、 $d$ 、 $l_1$ 、 $l_2$ 和 $\alpha$ 是固定参数,施肥作业前输入到控制程序中。可见,只要由式(1)实时计算出施肥机行走距离 $S$ ,就可以推算出施肥机当前所在操作单元网格( $M, N$ )。

施肥机两侧安有划线器,以便驾驶员按直线行驶,即使有稍微偏斜,也会快速回正。

## 3 传感器测距累积误差校正

传感器测距会受到系统误差和非系统误差的影响。系统误差包括驱动轮实际直径和测量直径不等,有限的编码器和接近开关采样频率、计数分辨率等;非系统误差包括车轮打滑,地面不平,地面有无

法预料的物体(例如石块)等因素。这些因素可以产生测距误差,而且随着车辆行走距离的增加,累积误差会逐渐增大,造成车辆定位的不准确<sup>[10]</sup>。

为了提高定位精度,提出一种累积误差的校正方法。即施肥作业前,针对一块地(即特定的土壤条件),通过传感器测距的累积误差取得校正系数。当施肥作业时,把校正系数输入到控制程序中。

校正系数获取的方法是:在地块垄长方向上等距离  $b$  插一些标杆,每到一标杆传感器测得的施肥机行走距离为  $y'_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 对应的实际距离  $y_i = ib$ , 相对误差  $u_i$  和累积误差校正系数  $u$  分别为

$$u_i = \frac{y'_i - y_i}{y_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} \quad (3)$$

将这个校正系数由拖拉机驾驶员通过键盘输入到控制程序,可得到误差校正后的距离

$$y'' = y'(1 - u) \quad (4)$$

#### 4 误差校正算法检验

为验证此定位方法的可行性,本文通过实验对校正前后光电编码器和接近开关传感器的测距精度进行测试。实验地点为吉林农业大学秋收后经过灭茬深松和起垄作业后的玉米地。

采用烘干称量的方法测得该地块平均土壤含水率是 20.29%; 使用机械式土壤坚实度仪测得该地块 20 cm 处平均土壤坚实度为 1 600 kPa。

实验设备:光电编码器和接近开关传感器、控制器、便携计算机、拖拉机-施肥机具组。

测试过程分为 2 步:① 求校正系数。拖拉机以一定速度行驶,控制器同时读取光电编码器和接近开关传感器的脉冲信号。标杆间距为 25 m,测得数据如表 1 所示。由式(2)和式(3)得到该地块光电编

表 1 校正前光电编码器和接近开关实测距离与累积误差测试结果

Tab. 1 Test results of distance and accumulation error for photoelectric encoder and proximity transducer before correcting

行走距离	实测距离		累积误差	
	编码器	接近开关	编码器	接近开关
25	26.12	26.14	1.12	1.14
50	51.96	52.02	1.96	2.02
75	77.66	77.65	2.66	2.65
100	103.80	103.81	3.80	3.81
125	129.26	129.24	4.26	4.24
150	155.50	155.50	5.50	5.50

码器和接近开关的校正系数均为 3.39%, 可以认为各种因素综合起来对 2 种传感器测距累积误差的影响是一样的。② 累积误差校正。将第 1 步得到的 2 种传感器累积误差校正系数 3.39% 输入到控制程序,测得校正后拖拉机行走距离和累积误差数据如表 2 所示。

表 2 校正后光电编码器和接近开关实测距离与累积误差测试结果

Tab. 2 Test results of distance and accumulation error for photoelectric encoder and proximity transducer

行走距离	实测距离		累积误差	
	编码器	接近开关	编码器	接近开关
25	25.24	25.25	0.24	0.25
50	50.20	50.26	0.27	0.26
75	75.03	75.02	0.44	0.50
100	100.29	100.29	0.70	0.77
125	124.88	124.86	1.11	1.19
150	150.23	150.23	1.46	1.55
200	199.95	199.98	1.73	1.79
225	225.20	225.17	1.98	1.98
250	250.54	250.53	2.32	2.34
275	275.41	275.44	2.45	2.43
300	300.22	300.20	2.64	2.67
325	324.93	324.94	2.94	2.93
350	350.30	350.29	3.31	3.28
375	374.83	374.86	3.79	3.70
400	399.74	399.79	3.87	3.77
425	424.77	424.81	3.90	3.78
450	450.31	450.33	4.43	4.31
500	500.00	500.00	4.74	4.64

对于垄长为 40 m 的网格,要使定位误差小于 6%,累积误差应小于 2.40 m。根据表 1 数据,拖拉机行走距离为 75 m 的时候,光电编码器和接近开关传感器测距累积误差分别为 2.66 m 和 2.65 m,说明校正前,该系统仅可以满足垄长还不到 75 m 地块作业的定位要求。根据表 2 数据,拖拉机行走距离为 250 m 的时候,光电编码器和接近开关传感器测距累积误差分别为 2.32 m 和 2.34 m,此结果表明:校正后该系统可以满足垄长小于 250 m 地块作业的定位要求。如果操作单元垄长为 50 m,在此定位误差条件下,此系统就可以满足垄长小于 325 m 地块作业的定位要求。同理,如果操作单元垄长为 60 m,在此定位误差条件下,此系统可以满足垄长小于 350 m 地块作业的定位要求。

经过多次实测检验,地块垄长为 250 m 的时候,两种传感器测距累积误差均小于 2.40 m,达到定位误差小于 6% 的要求(操作单元垄长为 40 m)。但从

节约成本考虑,建议选用接近开关传感器。

## 5 结论

(1) 采用传感器实现了施肥机的实时定位。实验结果表明,如果网格垄长为 40 m,定位误差小于 6%,该系统可以满足垄长小于 250 m 地块作业的定位要求。如果在此定位误差条件下,增加操作单元

垄长方向划分的距离,可满足对更长地块作业的定位要求。

(2) 针对一块地(即特定的土壤条件),测得车轮在此土壤地面的累积误差校正系数为 3.39%。在施肥作业中可以直接输入这个校正系数,进行网格识别及变量施肥。此数据可作为相似的土壤条件下地轮打滑等因素引起的累积误差修正的参考。

## 参 考 文 献

- Price R R, Goutam Nistala. Development of an inexpensive autonomous guidance system[C]//2005 ASABE Annual Meeting, Paper No. 051139, 2005.
- Guo Linsong, Zhang Qin, Feng Lei. A low-cost integrated positioning system of GPS and inertial sensors for autonomous agricultural vehicles[C]//2003 ASABE Annual Meeting, Paper No. 033112, 2003.
- Vassallo M J, Benson E R, Kee W E. Evaluation of multispectral images for harvester guidance[C]//2002 ASABE Annual Meeting, Paper No. 021202, 2002.
- Benson E R, Reid J F, Zhang Q. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester[J]. Transactions of the ASAE, 2003, 46(4): 1 255~1 264.
- 王荣本,纪寿文,初秀民,等. 基于机器视觉的玉米施肥智能机器系统设计概述[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 151~153.  
Wang Rongben, Ji Shouwen, Chu Xiumin, et al. General design for corn fertilizing intelligent machine vehicle system based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(2): 151~153. (in Chinese)
- Marchant J A, Hague T, Tillett N D. Row-following accuracy of an autonomous vision-guided agricultural vehicle[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1997, 16(2): 165~175.
- Chateau T, Debain C, Collange F, et al. Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 28(3): 243~257.
- 田泽. 嵌入式系统开发与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005: 60~61.
- 吴才聪,马成林,张书慧,等. 精确农业倾斜网格划分及其应用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 137~141.  
Wu Caicong, Ma Chenglin, Zhang Shuhui, et al. Method and application of making leaning field grid cell in precision agriculture[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(1): 137~141. (in Chinese)
- 周一鸣. 汽车拖拉机学:汽车拖拉机理论[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2000: 36~38, 55~58.

(上接第 150 页)

- 张长利,房俊龙,潘伟. 用遗传算法训练的多层前馈神经网络对番茄成熟度进行自动检测的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 153~156.  
Zhang Changli, Fang Junlong, Pan Wei. Automated identification of tomato maturation using multilayer feedforward neural network with genetic algorithms(GA)[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(3): 153~156. (in Chinese)
- Hahn Federico. Neural networks predict tomato maturity stage[C]//Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering, 1999, 3722:394~399.
- 应义斌,章文英,蒋亦元,等. 机器视觉技术在农产品收获和加工自动化中的应用[J]. 农业机械学报, 2000, 31(3): 112~115.  
Ying Yibin, Zhang Wenying, Jiang Yiyuan, et al. Application of machine vision technique in automatic harvesting and processing of agricultural products[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(3): 112~115. (in Chinese)
- 贾渊,姬长英. 农产品自动检测中的常见颜色模型[J]. 农机化研究, 2004(4): 205~208, 213.  
Jia Yuan, Ji Changying. Some common color models in automatic detection of agricultural products[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004(4): 205~208, 213. (in Chinese)
- 尹建军. 基于颜色差异的果实自动识别方法与双目定位技术研究[D]. 镇江:江苏大学, 2006.  
Yin Jianjun. Research in automatic recognition method and localizaion technique by binocular stereo vision based on color difference between fruit and background[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2006. (in Chinese)