

穗状玉米测产系统设计与试验*

齐江涛 张书慧 牛序堂 王 薇 徐 岩

(吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025)

【摘要】 设计了由产量监视器、速度传感器、产量传感器、差分全球定位系统(DGPS)、割台高度传感器、升运器转速传感器和玉米果穗导向装置组成的穗状玉米测产系统,并应用该系统进行田间测产试验。收获作业前抽样测量玉米果穗的粒穗比和含水率;玉米收获机工作时,以割台高度传感器作为逻辑开关,割台收获玉米果穗,通过导向装置使玉米果穗以相同速度冲击产量传感器;产量传感器将冲量转化为电信号,并传给产量监视器;产量监视器融合产量、速度、升运器转速及 DGPS 信息计算出当前小区产量并存储在扩展名为“.vld”的文件中,应用自行研制的农业空间信息采集与应用系统(DCAS)可绘制收获产量图。2009 年秋季应用该系统进行田间玉米收获实时测产,田间试验数据表明该系统测产平均相对误差为 18.11%。

关键词: 精确农业 穗状玉米 测产 传感器

中图分类号: S24; TP212.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)01-0181-05

Design and Application of Yield Monitor System for Corn Ear

Qi Jiangtao Zhang Shuhui Niu Xutang Wang Wei Xu Yan

(Key Laboratory of Bionic Engineering, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

A yield monitor system for corn ear was designed and applied in field. It is consisted of a monitor, a ground speed sensor, a yield sensor, a DGPS, a header sensor, an elevator speed sensor and the guiding device. The data of grain-ear ratio and moisture content of corn grains were sampled before harvest. The header sensor was used as a logic switch of the system while harvesting corn ears. All the corns were forced to impact the yield sensor at the same speed with the help of the guiding device. The monitor received signals coming from the yield sensor, the ground speed sensor, the elevator speed sensor and the DGPS worked out the yield in the plot and saved it in the file with extension of “.vld”. The yield map would be drawn by means of the self-developed DCAS (data collecting and application system). This system was applied in field in the autumn of 2009. The data of the experiment showed that the average relative error of the yield monitor system was 18.11%.

Key words Precision agriculture, Corn ear, Yield monitoring, Sensor

引言

在精确农业体系中,准确获取农作物产量可以检验当年变量作业(如变量施肥、变量喷药等)的效果,同时也能指导第二年播种和变量作业。目前获取农作物产量的方式有 3 种:人工抽样估产^[1~3];根

据某种模型预测作物产量,如通过建立生长条件模型^[4~5]或遥感模型预测产量^[6~10]等;使用装备产量传感器的收获机实现作物收获与产量实时监测,获取产量数据^[11~18]。

与人工抽样测产(估产)和利用模型预测产量的方式相比,利用传感器实时监测作物产量具有更

收稿日期: 2010-02-24 修回日期: 2010-03-24

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA10A309)和吉林大学研究生创新基金资助项目(20101018)

作者简介: 齐江涛,博士生,主要从事精确农业技术及其智能装备研究,E-mail: qijiangtao2008@hotmail.com

通讯作者: 张书慧,教授,博士生导师,主要从事精确农业技术及其智能装备研究,E-mail: shzhang@jlu.edu.cn

好的实时性、准确性,且成本较低。国外开发了一系列基于传感器的实时测产系统,其测产对象为草籽、小麦籽粒、豆类、玉米籽粒等颗粒状农作物^[11~13]。国内部分科研单位在颗粒状农作物产量实时监测方面的研究也取得一定进展和成果^[14~18]。

如果采用现有测产系统进行玉米田间收获与测产,则首先需要进行玉米果穗脱粒作业。在中国大部分地区,尤其是东北地区现行玉米收获作业方式中,由于受季节因素影响,在玉米籽粒含水率 30% 左右时即开始收获作业,此时由于玉米籽粒含水率较高,对玉米果穗进行脱粒会损伤玉米籽粒,增加玉米收获损失率。本文针对我国北方玉米收获作业方式,设计穗状玉米测产系统,为探索穗状玉米测产方法提供理论依据和试验参考。

1 测产系统的组成与实现

1.1 测产系统组成

穗状玉米测产系统主要包括产量监视器、产量传感器、割台高度传感器、升运器转速传感器、速度传感器、差分全球定位系统(differential global positioning system,简称 DGPS)以及玉米果穗导向装置。测产系统工作框图如图 1 所示。

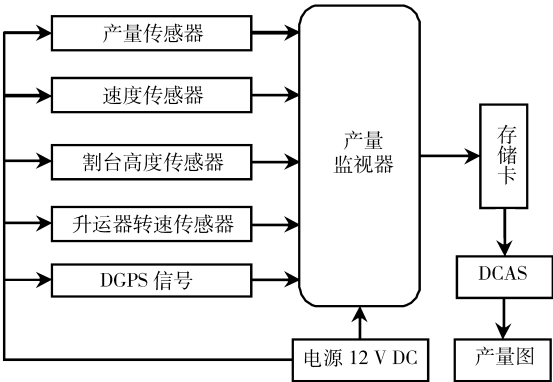


图 1 测产系统框图
Fig. 1 Block diagram of yield monitor system

1.2 产量监视器与相关传感器

测产系统选用美国 Ag Leader Technology 公司生产的 PF advantage 精确农业车载终端作为产量监视器。产量传感器采用美国 Ag Leader Technology 生产的 JD4425 型冲量式产量传感器,改装后对产量传感器重新校准。

割台高度传感器是测产系统工作的逻辑开关,安装在收获机割台上,负责监控制割台的工作状态。当割台高度传感器检测到割台高度小于临界值(割台放下),割台高度传感器发信号给产量监视器,通知系统开始采集产量数据。如果收获机割台抬起,产量监视器则停止采集产量数据,测产系统进入待

机状态。

升运器转速传感器由磁性材料转轴和磁感应探头组成。磁性材料转轴安装在升运器动力轴上,与升运器动力轴同步转动;磁感应探头固定在支架上,与磁性材料转轴的间隙为 2~8 mm。

速度传感器用支架固定到收获机左前轮,自制测速码盘与收获机前轮同步转动。速度传感器的振荡感应头接近测速码盘时会发出一个脉冲,即车轮每转一圈,接近开关传感器就会输出 P (本文为 19) 个脉冲。车轮直径为 D (本文为 0.75 m),在一定时间 Δt_i 内如果速度传感器输出脉冲数为 n ,则收获机的行走距离和行进速度分别表示为

$$l = \frac{n\pi D}{P} \tag{1}$$

$$v_i = \frac{l}{\Delta t_i} = \frac{n\pi D}{\Delta t_i P} \tag{2}$$

收获机行驶距离与事先设定的作业幅宽相乘得出收获总面积。测产系统单位时间的测产面积计算公式为

$$s_i = v_i \Delta t_i d = \frac{n\pi D}{\Delta t_i P} \Delta t_i d = \frac{n\pi D d}{P} \tag{3}$$

式中 d ——收获机割幅,本文为 1.30 m

1.3 差分定位系统

差分全球定位系统采用美国 Trimble 公司生产的两台 TRIMMARK3 电台和两部 AgGPS132 接收机组成基站和流动站,实现差分定位。该系统定位精度为亚米级(误差在 1m 以内),输出语句格式为 NMEA-0183 格式。定位系统通过接收 NMEA-0183 格式的 \$GPGGA 语句段实现对收获机的准确定位^[19]。

1.4 玉米果穗导向装置

升运器顶端安装导向装置,导向装置与升运器的空间相对位置如图 2 所示。在三维坐标系: xOy 为水平面;升运器位于 xOz 平面;导向装置轴线 AB 位于 yOz 平面,与 z 轴相交于 A 点,与 y 轴相交于 B 点; AB 与 z 轴夹角为 $\alpha = 45^\circ$;产量传感器位于 B 点。 OA 的距离为 90 cm, OB 的距离为 90 cm。

玉米果穗沿升运器上升,之后抛出。在重力作用下,果穗到达 A 点时在 z 轴方向的分速度 $v_z = 0$ m/s, y 轴方向的分速度 $v_y = 0$ m/s,则果穗运动到 A 点时 AB 方向速度 $v_{AB} = 0$ m/s。之后果穗沿 AB 方向下滑,忽略导向装置对果穗的摩擦力影响,所有果穗沿 AB 方向以相同速度(v)冲击传感器(B 点)。由动量定理可知,在某一时刻 t_i ,玉米果穗对产量传感器的冲量表示为

$$I_i = \Delta p = m_i \Delta v = m_i (v - 0) = m_i v \tag{4}$$

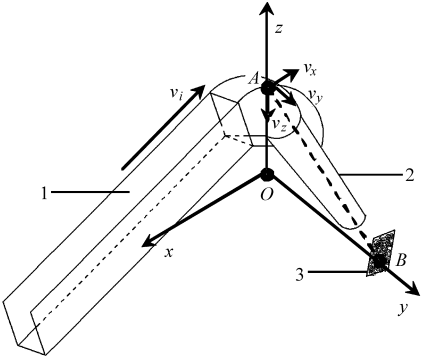


图 2 产量传感器空间位置示意图
Fig.2 Spatial location of yield sensor
1. 升运器 2. 导向装置 3. 产量传感器

式中 m_i —— t_i 时刻所收获玉米果穗质量
 v ——果穗在 B 点速度,近似为定值
此时,系统测得的产量计算公式为

$$y_i = k \frac{I_i}{\omega} = k \frac{m_i v}{\omega} = \frac{kv}{\omega} m_i \tag{5}$$

式中 ω ——升运器转速,为定值
 k ——产量换算系数,为定值
由式(5)可以得出,在升运器转速为定值的情况下,瞬时产量 y_i 仅与果穗质量 m_i 相关。

1.5 穗状玉米测产的实施过程

进行田间玉米收获作业前,对作业地块玉米进行抽样检测,获取玉米果穗的粒穗比和含水率。玉米收获机工作时,放下割台的同时产量监视器开始工作。割台收获玉米果穗,通过升运器和导向装置将玉米果穗输送到粮仓。在玉米果穗进入粮仓时冲击产量传感器,产量传感器将获得的冲量信号转换为电信号传给产量监视器;同时,速度传感器实时测量收获机行进速度并传给产量监视器,产量监视器每隔一定时间 (Δt_i) 记录一次收获机工作的瞬时速度 (v_i),同时记录一次玉米果穗瞬时收获量 $y_i = k \frac{I_i}{\omega}$;由收获量与收获面积计算得出玉米果穗产量数据(即单位面积玉米果穗产量 $z_i = \frac{y_i}{s_i}$);将产量数据与 DGPS 经纬度信息融合可得出收获机所处位置局部范围内(小区)的产量信息。

在收获机作业期间,产量监视器接收并融合速度传感器、产量传感器、升运器转速传感器和 DGPS 接收机的信息,连续不断地获取产量信息,最终获得整个地块各位置点的产量分布。作业期间,产量监视器可以实时显示瞬时产量、累计产量、收获机工作位置和行进速度等,并将数据以扩展名“.vld”的文件形式存储于 CF 卡中,便于作业完毕导入计算机进行深入处理。收获作业完成后,将产量信息导入

DCAS 系统^[20],即可绘制出产量分布图。

2 穗状玉米产量模型

农田土壤养分、肥料与农药投入、气象因素、灌溉情况以及病虫草害等因素对产量的影响都能以产量信息体现。因此,建立准确的产量模型是检验当年精确农业实施成果的重要环节。

收获过程中,产量监视器接收 DGPS 信号、速度信号、产量信号等,换算出收获面积并确定所处位置,得出 Δt_i 时间段内,单位面积玉米果穗产量计算公式为

$$z_i = \frac{y_i}{s_i} = \frac{kv}{\omega n \pi D d} \frac{P}{m_i} \tag{6}$$

玉米收获机收获作业时,由于玉米倒伏、收获机设计结构等自身性能等原因,存在一定的收获损失率,即果穗损失。其值由收获机性能决定,本文为 $\mu_1 = -0.04$;由于收获机作业过程中振动等原因,测产系统也存在一定的系统误差,为此在空载情况下先进行测试,系统平均误差系数 $\mu_2 = 0.25$ 。建立玉米果穗产量模型时考虑 μ_1 和 μ_2 ,则穗状玉米测产系统测量误差系数 $\mu = \mu_2 + \mu_1 = 0.21$ 。

建立玉米籽粒产量模型时,应将采集到的玉米果穗产量换算为玉米籽粒产量,故设产量模型中玉米粒穗比为 k' 。将玉米籽粒含水率代入产量模型,将产量换算为玉米贮藏标准含水率时的产量。那么, Δt_i 时间段内单位面积玉米籽粒实际产量计算公式为

$$Z_i = k' \frac{1 - W_h}{1 - W_m (1 - \mu)} \frac{z_i}{P} = k' \frac{1 - W_h}{1 - W_m (1 - \mu)} \frac{P}{n \pi D d \omega} \frac{kv}{m_i} \tag{7}$$

式中 W_h ——收获时玉米含水率
 W_m ——玉米贮藏标准含水率(14%)
式(7)中, W_m 、 μ 、 k 、 P 、 D 、 d 、 k' 、 ω 、 v 等已知; m_i 通过产量传感器测得; n 通过速度传感器获取。则通过式(7)可以得出单位面积玉米籽粒实际产量 Z_i 。

3 田间试验

2009 年 10 月,在吉林农业大学玉米试验田进行穗状玉米测产系统田间试验。试验地基点经度为 $125^{\circ}23.074\ 018'\text{E}$,纬度为 $43^{\circ}48.681\ 140'\text{N}$;面积 $5\ 200\text{ m}^2$;作业垄长 660 m 。玉米品种为先玉 420;玉米植株行距 0.65 m ,平均株距 0.31 m ,株高 3.25 m ;玉米果穗穗位高 1.10 m 。

玉米收获机选用吉林省白城市新农业机械有限责

任公司生产的4YW-2型玉米收获机。其主要技术参数为:配套动力22.05 kW;作业行数2行;适用行距0.60~0.68 m;果穗损失3%~5%。

收获作业前,对所收获地块抽样调查100穗玉米果穗,平均粒穗比 k' 为0.82;玉米籽粒含水率 W_h 为31.5%。

将试验田沿垄长方向每40 m划为一个小区(小区面积:40 m×1.3 m),每个小区称量一次玉米果穗质量。测产系统测得产量与实际产量见表1。田间试验结束后,将该地块玉米产量数据导入自行研制的DCAS系统^[20],得到该地块玉米产量分布图如图3所示。

表 1 田间试验数据
Tab.1 Data of experiment in field

试验序号	实际质量/kg	测得质量/kg	相对误差/%
1	92.20	120.95	23.77
2	103.60	111.02	6.68
3	94.00	87.59	7.32
4	116.20	113.39	2.47
5	111.40	99.58	11.87
6	114.50	99.90	14.62
7	104.20	104.65	0.43
8	113.50	97.74	16.12
9	87.60	114.37	23.40
10	65.00	85.33	23.82
11	48.00	76.15	36.97
12	52.50	76.26	31.15
13	90.00	104.11	13.55
14	93.10	120.30	22.61
15	160.90	119.66	34.47
16	153.20	127.10	20.53

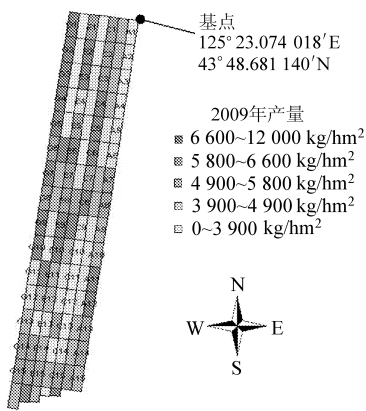


图 3 试验田产量图
Fig.3 Yield map of experiment field

由表1数据可以看出应用该测产系统实时测产平均相对误差值为18.11%。分析产生误差的原因有玉米收获机作业地块地表颠簸、机器振动、玉米果穗穗位高度不均、割台高度限制、产量传感器采样时间间隔等引起的误差,其中收获机作业过程中田间作业地表崎岖不平、收获机颠簸与振动、果穗穗位高度不均引起果穗损失为主要因素。

4 结论

- (1)针对我国收获穗状玉米的作业方式,设计了穗状玉米测产系统。系统通过导向装置使所有果穗以相同速度冲击产量传感器。
- (2)建立了穗状玉米测产过程中所需要收获机行进速度模型、收获面积模型等;建立了单位面积玉米果穗产量模型和玉米籽粒产量模型。
- (3)应用该系统进行田间试验,根据田间采集的产量数据,绘制穗状玉米产量分布图。田间试验表明,应用该系统实时测产平均相对误差为18.11%。

参 考 文 献

1 王新勤,姚宏亮,杨锦忠,等.玉米田间试验取样方法的研究[J].玉米科学,2003,11(增刊1):96~97.
Wang Xinqin, Yao Hongliang, Yang Jinzhong, et al. Study on sampling methods for field experiments of corn [J]. Journal of Maize Sciences, 2003, 11 (Supp. 1): 96~97. (in Chinese)

2 郭伟,张志岗,侯云霞.平均穗重取样法与单收单打测产结果比较[J].种子科技,2006(3):45~46.

3 王汉宁.玉米果穗轴截面在籽粒产量预测中的应用[J].甘肃农业大学学报,2001,36(3):273~277.
Wang Hanning. Application of ear axis section to estimation of grain yield [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2001, 36 (3): 273~277. (in Chinese)

4 Gene R Safir, Stuart H Gage, Manuel Colunga-Garcia, et al. Simulation of corn yields in the Upper Great Lakes Region of the US using a modeling framework [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(2):301~305.

5 McKinion J M, Willers J L, Jenkins J N. Spatial analyses to evaluate multi-crop yield stability for a field [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 70(1):187~198.

6 姬菊枝,陶国辉,范玉波,等.利用气象卫星遥感进行哈尔滨地区作物生长状况监测及产量预报[J].东北农业大学学报,2008,39(6):59~62.
Ji Juzhi, Tao Guohui, Fan Yubo, et al. Crop growth monitoring and yield forecast by satellite remote sensing technique in

- Harbin [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(6): 59 ~ 62. (in Chinese)
- 7 Zhong D, Novais J, Grift T E, et al. Maize root complexity analysis using a support vector machine method [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 69 (1): 46 ~ 50.
- 8 焦险峰, 杨邦杰, 裴志远, 等. 基于植被指数的作物产量监测方法研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 104 ~ 108. Jiao Xianfeng, Yang Bangjie, Pei Zhiyuan, et al. Monitoring crop yield using NOAA/AVHRR-based on vegetation indices [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 104 ~ 108. (in Chinese)
- 9 冯伟, 朱艳, 田永超, 等. 基于高光谱遥感的小麦籽粒产量预测模型研究[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(6): 1 076 ~ 1 084. Feng Wei, Zhu Yan, Tian Yongchao, et al. Model for predicting grain yield with canopy hyperspectral remote sensing in wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(6): 1 076 ~ 1 084. (in Chinese)
- 10 侯英雨, 王建林, 毛留喜, 等. 美国玉米和小麦产量动态预测遥感模型[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2 142 ~ 2 146. Hou Yingyu, Wang Jianlin, Mao Liuxi, et al. Dynamic estimation models of corn and wheat yields in USA based on remote sensing data [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(10): 2 142 ~ 2 146. (in Chinese)
- 11 Frantisek Kumhala, Vaclav Prosek, Milan Kroulik. Capacitive sensor for chopped maize throughput measurement [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 70(1): 234 ~ 238.
- 12 Loghavi M, Ehsani R, Reeder R. Development of a portable grain mass flow sensor test rig [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(2): 160 ~ 168.
- 13 Ag Leader Technology. Precision farming system operators manual[M]. Ames, Iowa: Ag Leader Technology, 2002.
- 14 陈树人, 张漫, 汪懋华. 谷物联合收获机智能测产系统设计和应用[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1): 97 ~ 99. Chen Shuren, Zhang Man, Wang Maohua. Designing and application of grain combine yield monitor system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(1): 97 ~ 99. (in Chinese)
- 15 胡均万, 罗锡文, 阮欢, 等. 双板差分冲量式谷物流量传感器设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 69 ~ 72. Hu Junwan, Luo Xiwen, Ruan Huan, et al. Design of a dual-plate differential impact-based yield sensor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 69 ~ 72. (in Chinese)
- 16 周俊, 苗玉彬, 张凤传, 等. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器田间实验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 102 ~ 105. Zhou Jun, Miao Yubin, Zhang Fengchuan, et al. Field testing of parallel beam impact-based yield monitor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 102 ~ 105. (in Chinese)
- 17 高建民, 郝磊斌, 张刚, 等. 谷粒冲击压电力敏元件数值模拟与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 63 ~ 66, 93. Gao Jianmin, Hao Leibin, Zhang Gang, et al. Numerical simulation and test of grain impact piezoelectric yield sensor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 63 ~ 66, 93. (in Chinese)
- 18 周俊, 刘成良. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器信号处理方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 183 ~ 187. Zhou Jun, Liu Chengliang. Signal processing method for impact-based grain mass flow sensor with parallel beam load cell [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 183 ~ 187. (in Chinese)
- 19 Trimble Navigation Ltd.. AgGPS 124/132 operation manual [M]. Sunnyvale, CA: Trimble Navigation Ltd., 2000: 153 ~ 163.
- 20 吴文波, 张书慧, 李雪飞, 等. 基于 PDA/GPS/GIS 的精确农业空间信息采集方法及其数据应用[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2005, 35(3): 323 ~ 328. Wu Wenbo, Zhang Shuhui, Li Xuefei, et al. Spatial information collecting methods and its data application for precision agriculture based on PDA, GPS and GIS [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2005, 35(3): 323 ~ 328. (in Chinese)