

中国精准农业联合收割机研究现状与前景展望

介 战, 刘红俊, 侯凤云

(河南科技大学农业工程研究所, 洛阳 471003)

摘 要: 该文概述了精准农业联合收割机国内外研究现状, 并着重介绍了与智能测产相关的信息技术, 从而进行了收割机生产效率和作业质量有关测控方面的探讨, 展望了中国精准农业联合收割机研究与发展的趋势, 要重视智能测产和作业质量控制。

关键词: 精准农业; 联合收割机; 智能测产; 作业质量

中图分类号: S225.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6819(2005)02-0179-04

介 战, 刘红俊, 侯凤云 中国精准农业联合收割机研究现状与前景展望[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 179- 182

Jie Zhan, Liu Hongjun, Hou Fengyun Research advances and prospects of combine on precision agriculture in China[J].

Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 179- 182 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

“精准农业”(Precision Agriculture)是以变量管理为中心, 利用全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)等信息技术, 获取农田小区作物产量和影响作物生产的环境因素(如土壤结构、土壤肥力、地形、气候、病虫害等)在实际空间和时间上的差异信息^[1], 分析影响小区产量差异的原因, 在定位采集农田土壤信息的基础上, 改变传统农业大面积、大样本平均投入资源的做法, 根据地块土壤等在时空上的差异, 按农艺要求进行精确定位、变量耕种、变量施肥、变量灌水、变量用药的农业生产新技术。

精准农业不只是引入新技术, 更是由于引进新技术而引发的一场信息革命^[2]。精准农业是以 GPS、GIS、RS、智能农机与农业专家系统等信息技术和工程技术为基础的现代农业先进生产技术, 智能化精准农机是实施精准农业的基础, 世界上一些发达国家相继投入了大量的人力和物力进行研究和开发。美国凯斯公司研制了“先进农业”系统(Advanced Farming System), 英国弗格森公司研制了“农田之星”(Field Star), 美国迪尔公司研制了“绿色之星”(Green Star)等智能化农业装备系统, 所涉及的智能农机有: GPS 智能测产联合收割机、GPS 变量播种机、GPS 变量施肥机、GPS 变量喷药机、GPS 土壤采样车、GPS 变量洒水车^[3]等。

1 精准农业联合收割机及国外研究现状

精准农业联合收割机是带有 GPS 的智能化农业机械, 是实施精准农业的重要环节和核心技术装备之一。它在田间作业时, 利用差分定位系统(DGPS)确定收割机的位置, 根据收割机的速度、割幅和谷物籽粒的流量可测出收获地块的产量, 绘出产量分布图。其显著标志就是在田间作业中实时智能测产。

绘制产量图是实施精准农业的重要步骤。美国卫西·弗格森在联合收割机上安装产量计量器, 在收割作物的同时, 准确收集有关产量资料, 绘成产量分布图。农场主利用产量分布图, 确定下一季的种植计划以及种子、化肥和农药的施用量。

产量图像是由产量监测器采集的相关地理产量生成的, 产量图使田间产量的变化可视化。当把土壤类型、土壤肥料、杂草分布和排水等制成图像时, 农场管理者就能够识别影响产量变化的因素。

美国目前约有 20 个制造商供应谷物联合收割机产量计量系统, 1997 年美国使用这一技术的联合收割机约有 17000 台, 其中约有一半带 GPS 定位系统, 可支持产量分布图自动生成, 美国的一个主要生产厂 2001 年生产的 90% 谷物联合收割机装备产量监视器^[1]。

目前, 各国对谷物产量自动计量所采用的方法主要有体积流量法和质量流量法。美国主要采用冲击式载荷测量法, 这种方法易受机器振动影响, 产生较大的测量误差。英国曾采用电容法测量谷物质量流量, 该系统受谷物湿度、谷物在容器内的分布及机器运行状态的影响。德国采用容积式光电测量法测量升运器内谷物高度, 得出体积流量。该方法会受到机器倾斜及谷物湿度的影响, 为了确定谷物的质量流量, 还必须测定谷物的密度和含水量。田间试验表明, 当收获面积较大时, 计量误差约 3%; 在小田块(3.6 m × 20 m)内试验误差可达 10% (由于随机干扰的影响)。上述几种谷物流量测量传感器都存在精度不高、性能不稳定和结构复杂等问题。英国 Massey Ferguson 公司最近研制生产的产量自动计量系统, 采用 γ 射线吸收原理, 具有较高精度^[4-6]。

美国 John Deere 公司“Green Star”(绿色之星)联合收割机的先进信息技术^[7,8]和性能代表了世界上同类产品的先进水平和发展趋势。其 GPS 系统包括: 卫星定位接收器(StarFire Position receiver)、显示器(GreenStar display)、移动处理器(Mobile processor)及相关软件。StarFire 卫星定位接收器是采用双频差分(DGPS)全球定位系统的接收器, 它用一个 10 通道引擎从全球定位卫星系统(10 个卫星)和迪尔差分校正网

收稿日期: 2004-02-17 修订日期: 2004-04-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59275239)

作者简介: 介 战, 教授, 洛阳市 河南科技大学农业工程研究所, 471003



采集信号,接收器定位精度误差可达到 10 英寸。

绿色之星显示器有一个简易的跟踪屏幕,上面有各种驱动命令菜单,可使操作者快速编辑信息。移动处理器装在绿色之星显示屏的背后,将采集的耕作、土壤、作物和定位方面的信息存入数据存储卡(PC Card)中,该存储卡可支持 800 h 的数据容量,并且把采集到的信息自动传输给办公室计算机 JDmap 软件系统。

田间数据采集系统使作物各项数据的采集更加容易,可应用于循环耕种管理,根据播种率和施肥用量的变化,建立收获数据采集系统或产量图信息,跟踪种植和农药使用等过程,利用所采集到的信息准备下一轮耕种。该系统具有实时采集功能,如施肥、除草和杀虫等,甚至耕种时的天气情况,这使得处方图的产生基于一系列变量之中。

处方图能在作业中自动改变喷洒率。当桌面计算机 JDmap 向在任一地块作业的机组发出喷洒和喷洒率指令,便能生成一张与中枢灌溉系统相关联的处方图,调用以前从田间采集的信息,如产量图和灌溉管路等,即可生成了作业处方图,并被存入 PC 卡中。

绿色之星模拟导航系统相当于人工方向盘,它有三种模式:直线导航模式是引导操作者沿同一条直线前进;曲线导航模式是引导操作者沿往复直线、环形线及渐开线行驶;自动对行模式是用于直立生长、按行种植的作物。它可引导操作者在经过一条路经后,准确地进入下一条路径,以减少对行的繁琐。产量图是智能测产系统的扩展,作物的产量和湿度显示在屏幕上,同时存入 PC 卡。操作者使用特殊“标记”功能,在一块地内可标注出多达 125 个观测点,以做进一步的观察。

Green Star 联合收割机的产量测定是由安装在籽粒升运器上部质量流量传感器实时测试收获的籽粒流量,与籽粒湿度传感器、收割机割幅信息及收割机速度传感器相配合来进行产量测定的。当谷物从籽粒升运器上部流出时,将会撞击安装流量传感器的弯曲挡板,谷物流量传感器可测出 1/10000 英寸的变化,然后转换为收获谷物的质量。籽粒升运器升运链上的刮板可使系统自动归零(约 3 s),避免系统调零而使收割机经常停车和重新启动。温湿度传感器不断采集谷物样本并检测籽粒的湿度和温度,自动将所收获的产量转换为烘干后产量。

2 中国精准农业联合收割机研究现状

精准农业联合收割机具有智能测产功能,是建立农田 GIS 基础数据的必要环节。谷物联合收割机的产量自动计量和产量图自动生成技术是中国农机装备机电一体化、信息化研究的优先发展方向之一^[1]。带有 GPS 的智能测产联合收割机在中国的研究现处于起步阶段,至今还无性能稳定、功能完善的产品供应市场。

2.1 GPS 系统研究

带有 GPS 智能定位导航系统是精准农业智能农机的显著标志。对于 GPS 系统在联合收割机上的应用,如中国农业大学精细农业研究中心针对 Trimble AgGPS

132 接收机和 PCC RFM 96W 数传电台所组成的差分定位系统进行了试验研究^[9],将 GPS 系统的接收数据采用高斯-科吕格投影进行平面直角坐标系转换,所测地块的大小、比例和形状可满足亚米级应用;对 GPS 接收数据进行高斯投影,选择适当的椭球参数和中央子午线经度,精度可达到厘米级,获得了农业区域实时 DGPS 应用亚米级、厘米级+亚米级两种实施方案。

华南农业大学对 Racal Survey 公司 LandStar GPS/DGPS 系统进行了试验研究^[10],60 m 测距时,距离的均方差为 1.17 m,相对误差为 1.30%;开发了定位测产软件,能够实时、准确的纪录 GPS/DGPS 位置信号和模拟产量信号;还对英国福格森公司 FieldStar 系统与 LandStar GPS/DGPS 系统的 DN9684 GPS/DGPS 系统接口进行了分析,试验研究^[11],实现了与 PC 机的 CAN 总线通信和 RS232 串行通信,其串行通信格式 NMEA-0183 包含 GGA 和 VTG 两种数据,并可从 GGA 数据中分离出经度、纬度和海拔高度;可灵活运用 LandStar GPS/DGPS 接收器采集的位置信息,根据产量传感器采集的数据利用 Surfer 等软件,方便的绘出产量图和含水量等空间分布信息图。

2.2 谷物籽粒流量测量研究

中国农业大学进行了“核子式谷物流量测量”和“冲量法谷物流量测量”等方法的研究,均获得较为满意的阶段性成果,有望应用于联合收割机的智能测产。

核子式谷物流量测量^[12]系统包括:γ射线输出器、γ射线探测器、速度测量装置和微型计算机。当核子秤工作时,进入探测器的 γ射线经探测器和前置放大器转化为输出电压信号,其幅度与被探测的 γ射线强度成正比。当谷物从辐射源和探测器之间通过时,射线强度的衰减与谷物的质量呈指数关系,相关系数为 0.9994。

冲量法谷物流量测量^[13]系统包括:传感器、数据采集转换、数据处理与显示 3 部分。其测试原理是通过连续测量谷物碰撞、打击籽粒升运器拦截板后其动量的变化,实现谷物累积质量的实时测量。其传感器的敏感元件选用压电陶瓷基片,固焊在一定曲率的金属板上,测量过程中该金属板充当谷物流动的拦截板。试验表明,测量误差的绝对值小于 5%。引入外部机械振动,系统测量误差的绝对值小于 8%。

2.3 智能测产系统研究

东北农业大学采用加拿大马克尼公司的 ALLSTAR GPS 进行了测产系统的开发和试验研究^[14],该系统分为称重、定位、数据采集、数据处理和显示 5 部分。称重部分由荷重传感器完成谷物重量电信号的转换;定位部分由 GPS 接收天线和 G12 型 OEM 接口板组成,完成采样点经纬度信息的采集;数据采集部分由数据采集电路板采集、转换并存储谷物重量信号;数据传输部分采用一块存储卡保存数据并将数据传递给上位机;数据处理部分由 PC 机及相应软件组成,将存储卡传来的数据输入数据库,计算出各地块的产量,显示产量图形。

上海交通大学机器人研究所与上海市精准农业技

术有限公司及上海市农工商集团合作,在 JD 1075 型联合收割机的基础上,开发了基于 GPS 的联合收割机智能测产系统^[15]。该系统包括:主控制单元(Philips80C552 单片机、液晶屏)、CF 卡,改进型 GPS 及相关传感器。产量传感器和湿度传感器分别测得谷物重量和湿度信号,速度传感器测出实时作业速度,据此计算亩产量。GPS 指示出每一测试点的经纬度,割台信号控制系统的运行,这些信息通过 Philips80C552 处理后,存入 CF 卡(CF 卡作为系统的海量存储器)并在液晶显示屏上显示。产量传感器安在粮仓顶部,采用应变感应方式,接收来自于籽粒升运器刮板的谷物冲量,湿度传感器安在产量传感器下面,选用 S401B 型湿度器,实验证明,采用国产产量传感器,精度满足使用要求。在收割机的驱动主轴上安装电容式接近开关,计算出每一脉冲所对应收割机前进的距离。采用 GPS 解算出收割机的相对位移,校正轮子打滑等引起的位移误差,达到国外多普勒雷达的测量精度。

该 GPS 联合收割机智能测产系统于 2002 年 6 月在上海农工商集团五四农场收割小麦约 13.33 hm²,并生成了该地块的产量图,其 GPS 精度等级 2 m。

3 中国精准农业联合收割机研究及发展趋势

随着中国农业机械化生产的发展和跨区“南征北战”的影响,农村对联合收割机的需求,也逐步由小型向中、大型发展。中国人口众多,粮食生产至关重要。联合收割机的设计、生产和使用必须保证其生产率和籽粒损失等性能及质量指标,精准农业联合收割机不仅要智能测产,而且应对生产率和籽粒损失指标进行控制。

3.1 研究方向

1) 智能测产 联合收割机在收获过程中经 GPS 系统定位和导航,由测产系统实时智能测产^[8,15],绘出产量分布图,不仅是对前期农作措施的总结,也是来年农业生产作业决策的依据。对于智能测产功能的研究,要进一步研究 GPS 定位导航系统,适用的谷物流量和籽粒湿度系统,开发适合国产收割机配置的 GPS 智能测产系统。

2) 喂入量测控 联合收割机工作在额定喂入量状态下,就可保证具有良好的技术性能和作业质量。因此,控制联合收割机的前进速度、割幅和割茬,使联合收割机处于最佳喂入量状态下,才有利于提高生产率,减少谷物清选和分离损失。当联合收割机切割后的谷物通过倾斜输送机时,喂入谷物对底板的挤压力因喂入量的变化而不同,由此,可采用压力传感器及挤压力测试原理^[17]和当量喂入量测试^[18]的构想实时测试喂入量。

收割机的前进速度可采用测试收割机驱动主轴转速的原理来进行,如:安装电容式接近开关^[15]、光电传感器、霍尔传感器^[19]或多普勒雷达^[15]等方法,均可获得较高的测试精度。采取控制行进速度的方法便可自动控制喂入量。将液压行走无级变速器作为控制执行部件,即可实施喂入量的模糊自适应智能控制^[25]。

割幅的改变是影响收割机喂入量的显著因素之一。

可采用超声、激光或红外传感器^[20]等方法实时测试割幅。如把两个远红外光电开关固定在分禾器的两侧,即可对割幅实时测试。

对于割茬,可由机手酌情控制,但大豆结荚较低,割茬要求低,甚至还要求割台需纵向和横向仿形^[21],以减少漏割损失。如采用仿形液压板控制割茬高度^[22],也可在分禾器下设置检测滑撬位置开关^[23],或采用无触点式传感器测试割台位置^[24],通过液压系统控制割台油缸以控制割茬高度。

3) 脱粒质量测控 对于某一特定的作物,脱粒滚筒转速与喂入量之间应有良好的匹配关系。研究表明,对于潮湿谷物,采用转速自动控制后,谷粒损失量约减少 75%,而谷粒破碎率只提高 0.7%^[25]。在检测喂入量的同时应实时测控滚筒转速,应根据喂入量变化及实际转速相对于设定转速的偏差,通过液压系统和无级变速器控制滚筒转速^[21,27,28]。

智能测试籽粒流量和含水率,实时测试喂入量,可计算实时的谷物草谷比,从而确定脱粒负荷。对于不同的脱粒负荷,通过控制相应的脱粒间隙和滚筒转速,即可保证最佳脱粒质量。脱粒滚筒横向喂入的均匀性也对脱粒质量有着不可忽视的影响,因而宁可满幅低速,且勿半幅高速。滚筒的转速可采用电容传感器、磁电传感器、光电传感器及霍尔传感器等进行测试。

4) 分离和清选损失测控 联合收割机所用籽粒损失传感器多为压电晶体(压电陶瓷)式,分别安装了逐稿器和清粮筛损失传感器^[29],将一片压电晶体膜片安装在一块长方形铁板的中心位置上,当下落谷粒撞击传感器铁板产生机械振动,经压电晶体膜片转变为相应的电脉冲信号,由仪表显示籽粒损失程度。但其值为损失的绝对量。因此,在采用损失传感器测试分离和清选损失时,应实时测试联合收割机的喂入量和籽粒流量,然后推导出草谷比和脱粒、分离与清选负荷,即可控制分离和清选装置工作在最佳状态。

3.2 控制策略和理论

影响收割机智能测产和作业质量的因素很多,如前进速度、各工作部件(滚筒的转速、风扇的风速、筛子的开度等)性能、收获作物(品种、成熟度、高度、密度等)性质、地面(土质、平整度、附着力等)状态与收割机的喂入量、脱粒负荷、分离负荷、清选负荷、籽粒流量、产量及损失率等,这些因素都是动态变化的,很难依据这些因素建立一个精确的数学模型。

收获过程中的精准农业联合收割机存在着:GPS 系统的处方农业定位和导航信息、智能测产系统的产量和籽粒湿度信息、脱粒装置的喂入量和滚筒转速信息、分离和清选装置的损失信息等所能表示收割机智能测产和作业质量的多源信息,作业中的收割机是一个非线性、随机性和大延时的复杂系统,无法采用现代控制理论中单一的控制策略和方法实施最佳工作状态的测控。

通过模拟试验、田间试验和理论探讨,采用经典推理、模糊逻辑、神经网络、进化计算、专家系统等方法,研究精准农业收割机多源信息融合的原理和方法,解决各

工作部件子系统间的接口设计, 数据格式、通信协议、资源共享等问题; 运用系统工程理论、模糊控制技术、神经网络技术、人工智能等控制技术, 研究部件监测与系统集成控制相结合的分层次控制策略, 整合精准农业联合收割机智能测产、喂入量和收获损失等测控系统, 研究精准农业联合收割机智能测产和作业质量集成控制理论, 形成符合中国国情的精准农业联合收割机多源信息融合与集成控制技术。

4 结 语

精准农业联合收割机田间作业损失率, 对于测产精度、绘制产量图, 建立农田土壤 GIS 信息基础数据等的影响不大, 但收获损失应控制在中国相关标准要求范围之内。今后要研究适合国情的、有效实时控制智能测产与作业质量的理论和技术, 改进国外的 GPS 测产系统, 整合测产精度、生产效率与收获损失, 形成新的联合收割机智能测产与作业质量的控制理论与技术, 满足我国农业现代化的发展和市场的需要。

[参 考 文 献]

- [1] 汪懋华. 精细农业发展与工程技术创新[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 1- 8
- [2] Robert P C. Precision agriculture: an information revolution in agriculture[J]. Agriculture Outlook Forum, 1999, 1- 5
- [3] 上海交通大学机器人研究所. <http://www.robot.sjtu.edu.cn>
- [4] Stafford J V. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1996, 14(2, 3): 101- 119
- [5] Reitz P. Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1996, 14(2, 3): 137- 150
- [6] Schueller J K. Technology for precision agriculture. Proceedings of the First European Conference on Precision Agriculture [C]. Warwick: B D S Scientific Publishers Limited 1997, 33- 44
- [7] John Deere Ag Management Solutions [Z]. GreenStar Precision Farming 2003
- [8] 美国 John Deere 公司. <http://www.deere.com>
- [9] 张 博. GPS 在农业中的应用技术[D]. 中国农业大学, 2000
- [10] 彭子苑. 基于 LandStar Navigator GPS/DGPS 接收器的测产定位系统的研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2002 5
- [11] 郭建华. FieldStar 精细农业系统的通信接口研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2002 5
- [12] 田国政, 汪懋华, 等. 核子式谷物产量自动测量方法[J]. 中国农业大学学报, 2000, (4): 35- 38
- [13] 孙宇瑞, 汪懋华. 冲量法谷物流量测量系统的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, (4): 48- 50
- [14] 藏荣春. 精确农业中产量监测系统的实验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2002 5
- [15] 孙志强, 等. 基于 GPS 的联合收割机智能测产仪器研制[J]. 机电工程, 2003, (2): 5- 8
- [16] 卡那沃依斯基 Cz 曹崇文, 等译. 收获机械[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983
- [17] 介 战, 周学建. 喂入量传感器测试模型研究[J]. 农业机械学报, 2001, (1): 53- 55
- [18] 介 战, 苟新建, 等. 谷物喂入量台架当量测试与分析[J]. 洛阳工学院学报, 1998, (2): 32- 36
- [19] 陈 进, 李耀明. 联合收割机转速监视报警装置的研制[J]. 农机化研究, 1997, (4): 57- 59
- [20] 成跃乐, 等. 农机作业面积测量仪的研制[J]. 山东农机, 2003, (2): 9- 10
- [21] 董明凉. 谷物联合收割机实用手册[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1990 3
- [22] 张认成, 等. 联合收割机自动控制研究现状与展望[J]. 江苏理工大学学报, 1998, (2): 11- 16
- [23] 金盛芳. 日本半喂入联合收割机的自动化[J]. 农机情报资料, 1978, (11): 9- 24
- [24] 王 熙, 王新忠. 收获机割台高度无触点式传感器[J]. 农业机械学报, 2001, (1): 122- 123
- [25] 介 战, 等. 联合收割机喂入量自适应控制液压系统[J]. 中国农机化, 2002, (1): 38- 39
- [26] Eimer M. Funktion und Arbeitsqualität der Drehzahlgeregeten Dresehtrommel [J]. Grundld Landtech, 1973, (6): 523- 526
- [27] 卡那沃依斯基. 收获机械[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983
- [28] 赵 清, 等. 4L2- 5 型联合收割机脱粒滚筒无级变速器承载能力的试验研究[J]. 吉林工业大学学报, 1985, (1): 75- 83
- [29] 王新忠, 张三柱. 联合收割机粮食损失传感器谷粒撞击动力学分析[J]. 农机化研究, 1997(2).

Research advances and prospects of combine on precision agriculture in China

Jie Zhan, Liu Hongjun, Hou Fengyun

(Institute of Agricultural Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract This paper summarizes research advances of combine based on precision agriculture at home and abroad and especially introduces the information technology of intelligent estimation of yield. Because the foreign combine of precision agriculture has not stressed the control of working quality so they are not suitable for the situation of China. The paper discusses the technical ideas of monitoring and controlling efficiency and working quality, prospects the trend of research and development of Chinese combine. Then the key technology in China precision agriculture is thought of as the intelligent estimation of yield and the control of working quality.

Key words: precision agriculture; combine; intelligent estimation of yield; working quality