

水稻插秧机自动导航技术研究现状

迟德霞, 王洋 (辽宁石油化工大学, 辽宁抚顺 113001)

摘要 对插秧机的自动导航技术作了初步介绍, 并分析了国内外插秧机自动导航技术的研究现状, 介绍了用 GPS 技术、机器视觉技术和惯性传感器技术对插秧机进行导航的原理、方法及试验获得的精度; 对国内插秧机自动导航研究现状也作了分析。最后对插秧机自动导航面临的问题作了总结, 并提出了建议。

关键词 插秧机; 自动导航; GPS; 机器视觉; 惯性传感器

中图分类号 S223.91² **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2011)26-16407-02

Research Status of the Automatic Navigation Technique of Rice Transplanter

CHI De-xia et al (Liaoning Shihua University, Fushun, Liaoning 113001)

Abstract The paper briefly introduces the automatic navigation technique of rice transplanter at first, analyzes the research status of the automatic navigation technique both at home and abroad, then describes the principles, methods and experimental precision of GPS, machine vision and inertial sensor in navigating the transplanter, and finally summarizes the problems facing the automatic navigation of rice transplanter and proposes some solutions.

Key words Rice transplanter; Automatic navigation; GPS; Machine vision; Inertial sensor

自动导航技术是计算机技术、电子通信、控制技术等多种学科的综合, 主要是通过传感器对车辆自身位姿信息进行检测, 进而根据检测获得的信息自主地进行路径规划与避障、探测定位和控制系统的稳定性, 并通过控制转向系统使车辆沿规划路径自动行驶来实现自动导航。国外对农用车辆自动导航控制技术研究相对较早^[1-4], 美国、日本和欧洲一些国家在导航定位、导航控制等方面都有较为深入的研究, 国内对该项技术的研究则相对较晚, 但我国的科研工作者们经过多年的努力也取得了一些成果。

水稻是世界上最主要的两大粮食作物之一, 其栽培面积总产量仅次于小麦, 全世界近 30 亿人口以稻米为主食。而水稻种植的整个过程都是处于水田中, 工作环境较差, 水稻插秧机发动机、插秧机构等发出的噪声也对插秧机驾驶者产生一定的影响。因此, 水稻插秧机的自动导航是实现农业机械化的重要内容。20 世纪 90 年代, 许多学者开始探讨把信息技术、控制技术、导航技术等多种当代先进技术应用于提升水稻插秧机的信息化、自动化水平, 使插秧机驾驶者摆脱艰苦的工作环境。

1 国外研究现状

日本的水田面积占总耕地面积的 1/2 以上, 其水稻种植机械化技术一直处于世界领先地位, 水稻插秧机自动导航技术也同样处于领先地位。20 世纪 90 年代以来, 随着计算机技术和信息采集与处理技术的发展以及多传感器数据融合等新技术的广泛应用, 使得目前对农业车辆的导航研究主要集中在机器视觉和全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 导航这两种最具有发展前途的方式上^[5], 插秧机自动导航也是如此。

1.1 GPS 技术 GPS 是美国从 20 世纪 70 年代开始研制, 于 1994 年全面建成的、具有三维导航与定位能力的新一代卫星导航与定位系统^[6], 能够提供车辆的三维空间位置信息, 目前大多数的车辆采用 GPS 导航。GPS 系统的不足是在有些情况下信号丢失, 从而会影响其使用。虽然采用 DGPS、卡

尔曼滤波等技术可以改善 GPS 导航的性能, 但导航精度和可靠性的问题依然存在。所以, 在以 GPS 为主的导航方案中, 必须要辅助以其他定位方法, 使得导航能够正常进行^[7]。

Weise 等^[8]对水稻插秧机的转向轮的转向角和转弯半径直接关系进行了研究。他们在三菱公司生产的 5 行插秧机上的制动、离合器、加速和转向器上安装了伺服机构, 便于自主行走。用 Trimble-RTK GPS 确定和记录位置信息 (该试验中达到 1 cm 的精度), 用圆锥透度计测量泥浆浓度, 用长度传感器测量转向角度。在筑波日本国家农业研究中心的试验田内做了试验, 得到了转向半径 (r) 轮距 (w_s) 和转向角 (δ) 的关系: $r = w_s / \cos(\pi/2 - \delta)$, 尤其是转向角 (δ) 在 0.15 ~ 0.20 弧度有效, 当转向角 (δ) 大于 0.25 弧度时, 转向半径接近于理论值。

日本国家农业研究中心的 Nagasaka 等^[9]在 Iseki 商业 6 行水稻插秧机上改装, 用电子液压缸和限位开关控制离合器和制动器踏板, 用电机转动铁线带动油门踏板, 用带有正时皮带的电机和电磁离合器控制方向盘。并在插秧机上安装了主计算机、具有 2 cm 精度的 Trimble MS750 RTK-GPS 和 JG-35FD 光纤陀螺仪及无线调制解调器对插秧机进行导航。其中 RTK-GPS 主要用于获取插秧机位置信息, 光纤陀螺仪用于获取插秧机的航偏角、俯仰角和侧偏角, 这些信息以串口形式发送给主计算机, 主计算机用插秧机的倾斜角度信息修正位置信息后得到控制参数, 并以串口形式发送给 PLC, PLC 控制制动踏板、节气门踏板、离合器踏板和转向盘电机等的执行器。由于水田泥土稀疏的特点, 动力学模型不易获取, 所以 Nagasaka 等用简单的比例控制器 $\delta = k_1 d + k_2 \Phi$ (δ 为转向角, d 为距离偏差, Φ 为航偏角, 速度为 0.7 m/s 时 k_1 为 0.636, k_2 为 -0.604) 来获得转向角。改装的插秧机在 50 m × 10 m 的稻田中进行了直线和转弯试验。直线行走速度为 0.7 m/s 时偏差为 5.5 cm, 而转弯时偏差为 10.0 cm。

1.2 机器视觉技术 机器视觉是研究用计算机来模拟生物宏观视觉功能的科学和技术。随着图像处理技术的迅速发展, 尤其是各种特殊的集成电路的出现, 机器视觉在多个领域得到了应用, 农业车辆系统也从中受益。视觉传感器在导

作者简介 迟德霞 (1979 -), 男, 辽宁凤城人, 讲师, 在读博士, 从事农业机械系统理论与设计研究, E-mail: cdx-215@163.com。

收稿日期 2011-06-16

万方数据

航系统中的主要任务是识别路线和检测障碍物,起到相对定位作用。它不仅工作性能优异,而且具有广泛适用性、功能多样性以及高性价比,其不足是测量精度受环境影响较大:能见度降低时,其测量范围和精度会降低^[7]。

北海道大学的 Kaizu 和东京大学的 Imou 在商业插秧机的基础上开发了带机器视觉的自动转向系统,使用 RGB 照相机进行图像采集,使用 LAB 色彩模型中的 B 因子代表水稻苗,并提出了 2 种算法用于计算航偏角和距离偏差,其中第 2 种算法对于航偏角的测量有更高的精度和鲁棒性^[10]。他们从试验和仿真中发现,照相机景深越大,航向误差越小,但这样做容易受到水面反光的影响。因此他们又开发了双谱照相秧苗检测系统^[11]。该系统由 1 台 PC 机、2 台 WAT-535EX 黑白 CCD 照相机和 PCI-1409 图像采集卡组成,并在一台照相机上安装了红外线滤波器用于捕捉红外线,在另一台照相机上安装了锐截止式滤波器用于捕捉近红外光谱,并在 2 台相机之间安装半透镜,使得 2 台相机采集的图像同步。先对 2 种图像进行标准化运算,再用近红外图像减去红外图像消除水面反光的影响,再用这个图像进行阈值运算,将得到的图像与近红外图像进行加运算消除书馆倒影的影响。将该样机在东京大学试验场进行田间试验,试验证明该算法可以消除水面反光和田边绿色倒映物等噪声的影响。

中国农业大学的陈兵旗与日本东京农工大学的 Tojo 和 Watanabe 对水稻插秧机的视觉导航技术进行了深入研究。他们将索尼 DCR-PC10 数码相机安装在插秧机一侧,将安装了采集卡的个人电脑安装在插秧机上。并提出了线性亮度分析法、线性颜色分析法和微分法,先将彩色图像转化为灰度图像,分析每条扫描线上的亮度变化,然后对堤岸、滨水线和秧苗进行检测,再对各自的末端检测,并作了精度分析,并在东京农工大学的试验场内进行了田间试验。结果证明,该算法可以对土质堤岸、水泥堤岸、秧苗和田地末端进行检测,并有很高的检测速率和精度^[12]。

1.3 惯性传感器技术 惯性导航是一种推算导航方式,它通过惯性测量装置对车辆的位姿信息进行推算。这种导航方式的优点在于:隐蔽性好而且不受外界电磁场的干扰;它产生的导航信息连续性好,而且噪声也低;它的数据更新率高,短期的导航精度比较好。但是由于它的导航信息是经过积分得到的,因此,存在累积误差,长期的精度低。因此,这种导航方式很少单独使用,它一般配合其他导航方式一起使用,则可以达到很好的精度^[13]。

由日本农业机械研究所的 Matsuo 等^[14]在乘坐式水稻插秧机上安装自动转向装置、导航设备和控制面板对插秧机进行导航。该导航设备由用于检测方向角的三轴地磁方向传感器、检测角速度的光纤陀螺仪、检测侧偏角和俯仰角的两轴倾斜传感器组成,倾斜传感器检测到的侧偏角和俯仰角对方向信息进行修正。控制单元是一个单片机,它从各传感器和控制面板获取转向角、速度和工况(人为输入)等信息,采用比例控制器决策后向转向电机发出指令。该插秧机在人工驾驶的前 10 m 内是“学习”阶段,控制器会记录当前方向,当驾驶员按下“自动驾驶”键后会沿着当前方向自动行驶,当按下“修正”后则会产生一个 5 cm 的偏差。经过田间试验,

自动驾驶与人工驾驶相比,在 30 m 距离内会产生 5 cm 的偏差,但由于插秧机在行驶过程中,驾驶员可以向秧板填加秧苗,作业时间减少了 8%。

2 国内研究现状

2.1 GPS 技术 华南农业大学张智刚等以久保田 SPU-68 型插秧机为研究平台,开发了基于 Trimble-4700 RTK-DGPS 和 HMR3000 电子罗盘的导航控制系统。该系统以简化两轮车运动学模型为基础,开发了基于速度的模糊自适应 PID 和前轮偏角反馈控制方法,仿真和试验结果表明,该控制方法简单有效,导航控制系统可以控制插秧机按预定的路线行走。速度为 0.75 m/s,直线路径跟踪时,平均误差 0.040 m,最大误差 0.130 m;速度为 0.33 m/s,圆曲线路径跟踪时,平均误差 0.040 m,最大误差 0.087 m^[15]。

2.2 视觉导航 浙江理工大学毛可骏等用 EXG 因子分割图像,将按列累加的灰度值所形成的曲线图设定水平分割线找到秧苗区域,确定各苗区的起始列点和终止列点,找到定位点,拟合分割线。根据秧苗行分布呈平行线状的特点,利用分割线在图像平面上形成的灭点和成像的斜率来计算插秧机的位移偏差和角度偏差,采用该算法处理图像平均需要 250 ms,实时性好,精度高。他们将 CCD 摄像机安装在步行式插秧机上,在路面上用人工铺设的 2 条平行标志线作为基准线,人为控制插秧机行进。试验结果准确地提取了秧苗各行的位置,计算得出的位移偏差及角度偏差与人工测量误差小,能够为无人驾驶插秧机的研究提供视觉基础^[16]。

3 结论

(1) 目前,尽管对插秧机自动导航技术的研究比较多,但技术还不够成熟,没有实用的系统可供商业化,原因是多方面的:DGPS 与惯性传感器等价格昂贵,限制了其在农业机械上的应用。机器视觉技术拥有价格优势,但在光线强度较弱时使用受到限制。

(2) 插秧机结构复杂,需要操作的操纵杆较多,全部实现无人驾驶比较困难。现有的自动驾驶系统多在原有基础上进行改造,其中转向系统改造比较容易,而换挡、离合器、油门等操纵杆的改造就比较难,至于穴距调节、差速锁的改装在目前的研究中还没有涉及到。

(3) 插秧机秧苗供给困难。目前还没有能够给插秧机自动供给秧苗的装置,所以插秧机的操作还不能够完全离开人的参与。

参考文献

- [1] REID J F. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 133-153.
- [2] TORII T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 155-167.
- [3] KEICHER R, SEUFERT H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 169-194.
- [4] WILSON J N. Guidance of agricultural vehicles-a historical perspective[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 3-9.
- [5] 申川, 蒋煥煜, 包应时. 机器视觉技术和 GPS 在农业车辆自动导航中的应用[J]. 农机化研究, 2006(7): 185-188.
- [6] 李强, 李永奎. 我国农业机械 GPS 导航技术的发展[J]. 农机化研究, 2009(8): 242-244.
- [7] 吴廷霞, 赵博, 毛恩荣. 农业车辆自动导航系统综述[J]. 农机化研究, 2009(3): 242-245.

(下转第 16412 页)

使用化石燃料使得大气中温室气体增加,导致全球气候和环境发生变化。二氧化碳是最主要的温室气体之一,能源系统又是最主要的二氧化碳排放源,因此目前温室气体排放控制的重点集中在能源系统二氧化碳排放的削减上。长期实行粗放型经济,使得我国能源密集工业比重居高不下,钢铁、汽车、机械工业等传统高耗能产业的发展消耗了大量的原材料和能源,我国也成为全球第一大温室气体排放国。节能减排成为改变我国传统高耗能产业“三高一低”(高投入、高消耗、高排放、低效率)的关键点。党中央、国务院高度重视节能减排工作,提出“十一五”单位 GDP 能耗降低 20% 左右、主要污染物排放总量减少 10% 的约束性指标。因此,如何有效降低高耗能产业的碳排放量便成为专家和学者的研究热点之一。

(2) 如何实现和发展碳排放权交易。碳排放权交易源于排污权交易。排污权交易理论由美国经济学家戴尔斯最先提出^[7]。碳排放权交易是为促进全球温室气体减排、减少全球二氧化碳排放所采用的市场机制。由于每个国家的减排成本存在明显差异,因此碳排放权便有了价值,在缓解气候变化领域产生了以二氧化碳排放为商品的市场。碳排放交易既是碳排放研究中的主要问题,又是碳减排中的基础性、关键性问题。目前,我国尚未形成较为完善的排放权交易体系,金融机构的参与也主要集中在与国际市场相关的各类项目方案上。作为一种融合了市场和政策导向的公共治理手段,碳排放权交易在我国减排目标的实现中有可能成为一种重要的政策工具。

(3) 征收碳税对我国的影响。碳税是根据化石燃料中的碳含量或碳排放量征收的税,最初出现在北欧国家^[8]。它以环境保护为目标,通过增加税收负担以减少二氧化碳的排放,进而减缓全球变暖的速度。在温室气体减排成为国际社会热点问题的背景下,碳税是否实施格外受到关注。征收碳税有利于推动消耗化石燃料产生的外部负效应内部化,是促进我国节能减排和建立环境友好型社会的有效经济手段之一。与碳排放权交易为基础的减排机制相比,碳税被认为是最有效的减排手段而获得广泛推崇。我国目前对碳税的研

究逐渐兴起,但实施难度较大。原因在于我国正处于工业化、城镇化的快速发展时期,能源结构在短期内难以改变。另外,当前经济发展对高耗能产业依赖度较大,碳税的征收势必会影响这些产业的发展。征收碳税既要保护环境又要保持经济增长,既要坚持同整体税制改革相结合又要防止重复课税。因此,根据我国国情设计和完善碳税税收制度,将成为碳排放领域研究的重点。

6 结论与讨论

1989~2010 年,我国碳排放研究取得了长足的进步,正处于研究的活跃阶段。发表碳排放研究文献的核心期刊可能会进一步凝练。随着转变经济发展方式实践向前推进,碳排放研究将更加迫切,更多碳排放研究的核心作者将涌现出来,其研究队伍将不断壮大。就研究主题而言,如何有效降低高耗能产业碳排放量将是今后研究热点之一,对碳排放制度的研究将成为碳排放研究领域中的新方向,根据我国国情设计和完善碳税税收制度,将成为碳税研究的重点。研究也存在一定的不足,应对碳排放问题的研究文献作进一步分析,这有利于深入考察某个细分领域的统计特征,如碳税、碳交易市场;对文献的主题研究没有进行更深入的探讨,这将是以后需进一步研究的切入点。

参考文献

- [1] 冉光和,王建洪,王定祥. 我国现代农业生产的碳排放变动趋势研究[J]. 农业经济问题,2011(2):32-38.
- [2] 王远库,李雪慧. 科技文献增长与老化指数规律的统一及数学阐释[J]. 情报杂志,2003(11):9-10.
- [3] 邱均平. 信息计量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2007:110-137.
- [4] 王宏鑫. 信息计量学研究[M]. 北京:中国民族摄影艺术出版社,2002:163-168.
- [5] 邱均平. 信息计量学(九)第九讲 文献信息引证规律和引文分析法[J]. 情报理论与实践,2001(3):236-240.
- [6] 思萌. 引文分析法的作用、局限性及其改进[J]. 图书馆建设,1992(6):17-20.
- [7] 饶蕾,曾骋. 欧盟碳排放权交易制度对企业的经济影响分析[J]. 环境保护,2008(6):77-79.
- [8] 王淑芳. 碳税对我国的影响及其政策响应[J]. 生态经济,2005(10):66-69.
- [9] WEISE G N, NAGASAKA Y, TANIWAKI K. An investigation of the turning behaviour of an autonomous rice transplanter[J]. J Agric Engng Res, 2000, 77(2):233-237.
- [10] NAGASAKA Y, UMEDA N, KANETAI Y. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43:223-234.
- [11] KAIJU Y, IMOU K. Vision-based navigation of a rice transplanter[C]// GIGR International Conference. Beijing:[s. n.], 2004.
- [12] KAIJU Y, IMOU K. A dual-spectral camera system for paddy rice seedling row detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture 2008, 63:49-56.
- [13] CHEN B, TOJO S, WATANABE K. Machine vision based guidance system for automatic rice transplanters[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(1):91-97.
- [14] 白晓鸽. 基于模糊神经网络的拖拉机自动直线行走控制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [15] MATSUO Y, HAMADA Y, YUKUMOTO O, et al. auto-steering rice transplanter for straight traveling[C]// International Conference on Automation Technology for Off-Road Equipment. St. Joseph: The American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004:292-297.
- [16] 张智刚,罗锡文,周志艳,等. 久保田插秧机的 GPS 导航控制系统设计[J]. 农业机械学报,2006,37(7):95-98.
- [17] 毛可骏,周平,赵匀,等. 基于机器视觉的自主插秧机导航信息的提取研究[J]. 农机化研究,2009(5):63-66.

(上接第 16408 页)

- [8] WEISE G N, NAGASAKA Y, TANIWAKI K. An investigation of the turning behaviour of an autonomous rice transplanter[J]. J Agric Engng Res, 2000, 77(2):233-237.
- [9] NAGASAKA Y, UMEDA N, KANETAI Y. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43:223-234.
- [10] KAIJU Y, IMOU K. Vision-based navigation of a rice transplanter[C]// GIGR International Conference. Beijing:[s. n.], 2004.
- [11] KAIJU Y, IMOU K. A dual-spectral camera system for paddy rice seedling row detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture 2008, 63:49-56.
- [12] CHEN B, TOJO S, WATANABE K. Machine vision based guidance system