

基于 GPS 导航的插秧机作业控制系统*

郭娜^{1,2} 胡静涛^{1,2} 王鹤^{1,2}

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了满足农业智能化的需要,实现插秧机田间作业的自动控制,设计与 GPS 导航系统相配合的插秧机作业控制系统。系统能够根据处方图的要求实现插秧机栽插作业和行驶速度的自动控制。以洋马 VP6 型高速插秧机为试验平台,在不影响手动操作的基础上对插秧机进行了电控改造,并与 GPS 导航系统进行了联合道路试验。试验结果表明,系统能够正确执行处方图既定的插秧任务,速度控制平均误差小于 0.011 3 m/s,满足了插秧机作业的需求。

关键词: 插秧机 作业控制系统 处方图 导航

中图分类号: S223.91⁺2; TP29 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)01-0200-05

Intelligent Operation Control System for Rice Transplanter Based on GPS Navigation

Guo Na^{1,2} Hu Jingtao^{1,2} Wang He^{1,2}

(1. *Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: In order to meet the demands of intelligent agriculture and realize the automatic operation of rice transplanter in the field, the intelligent operation control system based on GPS navigation technique was developed. This system functionality includes automatic operation of rice transplant and automatic control of the traveling speed according to the prescription map. The YANMAR VP6 rice transplanter's manual operation was transformed into electric control. The road experiment with GPS navigation system was accomplished on this platform. The results indicated that the electric control of the transplant operation performed accurately, the maximum average error of speed control was 0.011 3 m/s, and the speed control precision reached the requirement of the rice transplanter.

Key words: Rice transplanter Operation control system Prescription map Navigation

引言

农机智能化是国内外农业机械发展的必然趋势,是实现精准农业的关键手段。插秧机的智能化研究可分为自主导航控制和田间作业的自动控制两部分。在自主导航控制方面, Nagasaka Yoshisada 等开发了久保田 SPU-650 型插秧机的自动导航系统^[1-2]。张智刚、胡炼等开发了基于 GPS 技术和

CAN 总线通信的导航控制系统^[3-5],田间作业直线跟踪误差小于 0.2 m^[3]。任文涛等以久保田 NSD8 型插秧机为研究平台,在不改变原有转向机构的前提下,设计了一种遥控自动转向系统^[6]。伟利国等以 XDNZ630 型水稻插秧机为试验平台,采用 RTK-GPS 技术和 PID 控制算法,实现了自动对行导航及地头转向控制^[7]。胡静涛等研制了农机导航试验平台^[8],开发了具有较强通用性的农机自动导航控

收稿日期: 2012-08-08 修回日期: 2012-09-17

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B0603)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KGCX2-YW-138)

作者简介: 郭娜, 博士生, 主要从事精准农业变量控制研究, E-mail: gnstacy@gmail.com

通讯作者: 胡静涛, 研究员, 博士生导师, 主要从事精准农业研究, E-mail: hujingtao@sia.com

制系统^[9-10]。

国内研究机构在进行插秧机导航控制研究的同时,也进行了插秧机栽插作业的自动控制初步探索。华南农业大学对插秧机变速机构和栽插作业机构采用直流电动机进行电控改造,实现了转向机构、变速机构和机具升降机构的自动控制^[6],其电控操作时间比驾驶员操作时间略长。中国农业机械化科学研究院对插秧机的无级变速系统、制动系统、栽插升降系统原有的机械结构进行了改进,采用电动推杆进行控制^[7,11],并开发了根据插秧机行进速度无级调节插秧株距的控制系统^[12],设计了插秧机插植部水平智能控制系统^[13]。

本文以洋马 VP6 型高速插秧机为试验平台,对主变速操作、插植操作机构和变速机构进行电控改造,在此基础上设计基于 GPS 导航的田间作业控制系统,该系统能够根据处方图来控制插植机构的升降、插植动作的启停以及插秧机的行驶速度。

1 插秧机田间作业主要操作机构电控改造

1.1 插秧机操作机构

洋马 VP6 型高速水稻插秧机为 4 轮驱动的 6 行乘坐式插秧机。为满足智能操作控制系统的要求,对主要作业操作机构包括主变速手柄、插植手柄和变速踏板进行了电控改造。

插秧机主变速手柄与行走变速轴的外变速臂相连,用于行进方向与行走速度的切换,可在移动、中立、前进、补苗、后退挡位间切换,其结构如图 1 所示。其中移动挡位用于插秧机高速行走在农道上,中立位置用于仅驱动插植机构。因此,插秧机在田间工作时主要在前进、补苗、后退 3 个挡位之间切换。

插秧机插植手柄与变速箱的插植离合臂相连,可进行插植机构的升降,以及插植动作的开始与停止,其结构如图 2 所示。其中,升、中立、降 3 挡位用于插植机构的升降及固定,合和离 2 挡位用于控制

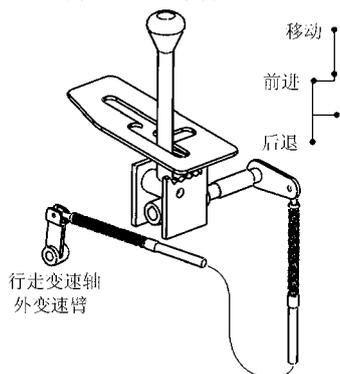


图 1 主变速手柄结构图

Fig. 1 Schematic diagram of gear shift handle

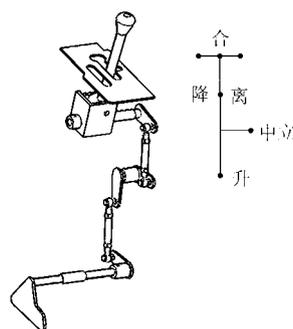


图 2 插植手柄结构图

Fig. 2 Schematic diagram of transplant operating handle

插植动作的开始和停止。

插秧机把传动效率高的齿轮变速和易操作的 HST (Hydro static transmission, HST) 变速相结合开发出了液压机械无级变速结构,使速度调节简单易操作,从零起动到高速插秧,只要通过变速踏板的踩踏就能实现。插秧机变速踏板与 HST 无级变速箱的变速臂相连,如图 3 所示。踩下变速踏板行走速度加快,松开变速踏板则行走速度减慢,完全松开则行走停止。

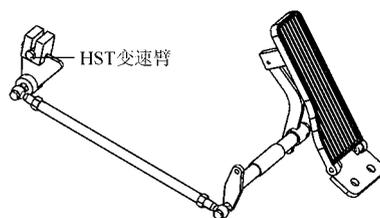


图 3 变速踏板结构图

Fig. 3 Schematic diagram of gear shift pedal

1.2 主变速操作和插植操作机构电控改造

插秧机主变速操作和插植操作机构的机械结构类似,其动作可以看作绕某一转动轴的圆周运动,挡位之间的切换可以简化为转动角度的变换。为了不影响插秧机的手动操作,对 2 个手柄本身的机械结构未进行改变,而是采用了步进电动机驱动 2 个操作手柄的转动轴,实现了主变速和插植作业的自动控制,其改造如图 4 所示。与直流电动机控制方法相比,步进电动机更易于实现位置控制,并且电控操作时间可通过调节控制频率的方法实现。

1.3 变速机构电控改造

变速踏板的踩踏幅度可改变插秧机行驶速度。在本系统中,选用带位置反馈的电动推杆实现对插秧机行驶速度的控制,将变速踏板与电动推杆用钢丝绳连接,其改造如图 5 所示。电动推杆收缩时,钢丝绳拉动踏板实现加速;电动推杆伸长时,踏板靠弹力恢复原位。同时,变速踏板的位置可通过电动推杆内置的电位器进行测量用于控制,其结构更加紧凑,且安装方便。

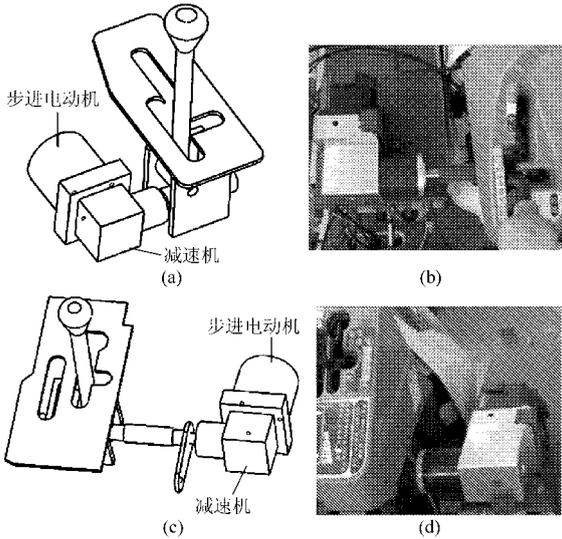


图4 手柄改造图

Fig.4 Structural diagram of operating handles transformation

(a) 主变速手柄改造示意图 (b) 主变速手柄改造实物图
(c) 插植手柄改造示意图 (d) 插植手柄改造实物图

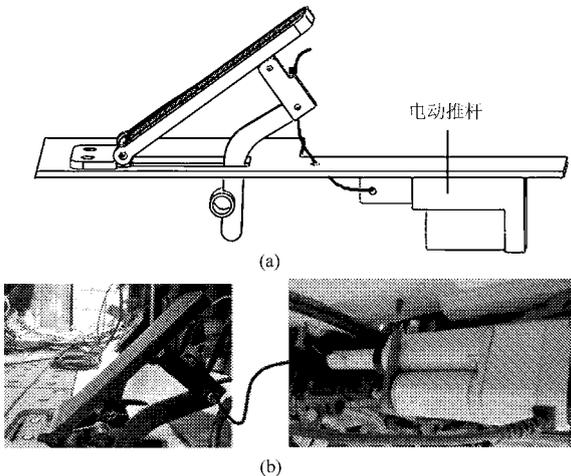


图5 变速踏板改造图

Fig.5 Structural diagram of gear shift pedal transformation

(a) 变速踏板改造示意图 (b) 变速踏板改造实物图

2 田间作业控制系统设计

2.1 总体设计方案

系统设计的主要目标是实现插秧机田间作业的自动控制,并与GPS导航系统相结合,实现精准作业。其主要功能包括:作业处方图的下载和解析;插植作业的自动控制;插秧机行驶速度控制。系统总体结构设计如图6所示。

田间计算机负责人机交互,配置各种参数,实时显示农机位置和速度等信息,并把处方图通过CAN总线下载到智能作业控制器;导航控制器根据规划路径控制插秧机精确跟踪行驶;智能作业控制器与导航控制器相配合,根据处方图通过插植手柄控制插植机构的升降和插植动作的启停,完成插秧机田

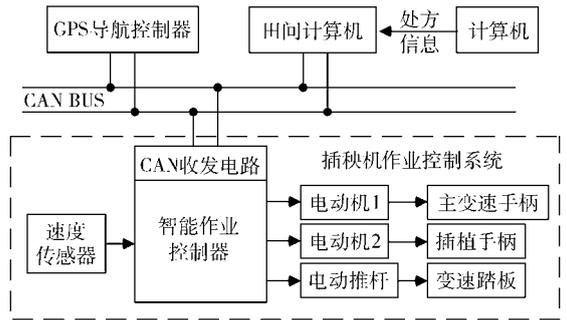


图6 作业控制系统总体结构图

Fig.6 Structural diagram of intelligent operation system

间插秧作业,并根据处方图的要求调节主变速手柄挡位控制插秧机的前进、后退和停止,同时实时采集插秧机的行驶速度发送到田间计算机显示,通过变速踏板控制插秧机按照处方图设定的速度行驶。

2.2 智能作业控制器硬件设计

插秧机作业控制器是以NXP公司ARM9处理器LPC3250为基础设计的,根据其功能划分为ARM9控制器最小系统、速度控制电路、CAN收发电路、手柄控制电路及扩展功能电路5部分,其硬件结构如图7所示。

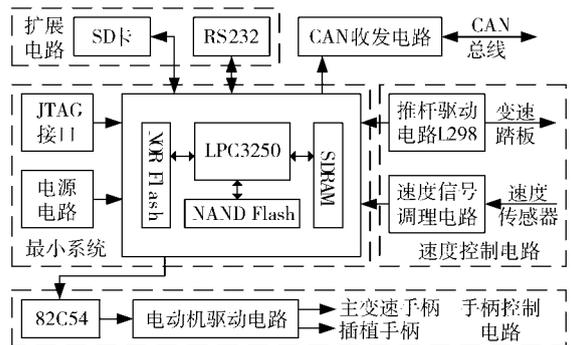


图7 控制器硬件结构图

Fig.7 Structural diagram of controller

ARM9控制器最小系统包括YL3250核心电路、电源电路及JTAG接口;速度控制电路包括速度信号调理电路和推杆驱动电路,速度信号调理电路将速度传感器输出的频率信号经过调理后送至LPC3250的定时计数器端口,推杆驱动电路选用双全桥电动机专用驱动芯片L298控制推杆电动机正反转,通过控制推杆运行时间来实现插秧机行驶速度的改变;手柄控制电路能够通过外置的定时/计数芯片82C54来产生用于控制手柄控制步进电动机的频率控制信号,从而控制主变速手柄和插植手柄的动作;系统使用CAN控制器SJA1000T和CAN驱动器CTM8251T的CAN收发电路,支持CAN2.0B协议。

2.3 智能作业控制器软件设计

插秧机智能作业控制器的软件部分是基于μC/OS实时操作系统开发的,它是一种公开源代

码、结构小巧、可移植、可固化、可裁剪、可剥夺型实时内核^[14]。它包含了任务调度、任务管理、时间管理、内存管理和任务间的通信和同步等基本功能。

$\mu\text{C}/\text{OS}$ 内核使用时将其完成的功能划分成优先级不同的任务,然后对每个任务编程。任务划分是软件设计的主要任务。

根据上面所提到的插秧机作业控制器的主要功能,将控制器的任务设计为 5 个:

(1) 开始任务 $\text{StartTask}()$,对系统需要的定时器、EMC、I/O 口等进行初始化。

(2) CAN 分析任务 $\text{CANTask}()$,读取 CAN 总线的数据,并对 CAN 数据进行分析,实现处方图解析、开始或停止控制等。

(3) 速度测量任务 $\text{SpeedTask}()$,周期性地测量速度值,并发送到 CAN 总线,用于田间计算机显示和速度控制。

(4) 手柄操作任务 $\text{HandleTask}()$,根据插秧机田间作业处方图,当插秧机行驶到相应位置时,降下插植机构并开始插植动作或停止插植动作并升起插植机构,同时根据处方图的要求实现插秧机的前进、后退以及停止控制。

(5) 速度控制任务 $\text{ControlTask}()$,将实时测得的插秧机行驶速度值与处方图设定的行驶速度值进行比较,采用增量式不完全微分 PD 速度控制算法^[15],控制插秧机的行驶速度。

3 试验

为了验证插秧机的田间作业控制系统的整体性能和控制精度,在上述电控改造的插秧机平台上,进行作业自动控制的路面试验,如图 8 所示。

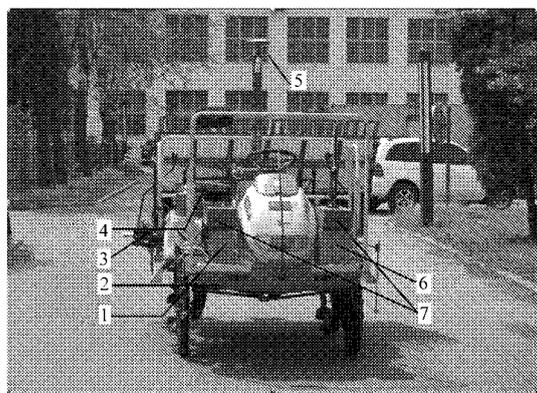


图 8 插秧机道路试验

Fig. 8 Road experiment of rice transplanter

- 1. 智能操作控制箱
- 2. 电动推杆
- 3. 速度传感器
- 4. 田间计算机
- 5. GPS 天线
- 6. 导航控制箱
- 7. 手柄电控装置

系统试验基于 $A - B$ 直线导航作业,其行驶路径规划如图 9 所示。插秧机沿 $A - B$ 间直线行驶,当插秧机行进到 A 点时,插秧机减速,到达 A_1 点时

停止,此时降下插植机构,开始插植动作,并拉下变速踏板,控制插秧机行驶速度保持在设定值;当插秧机行进到 B_1 点时,松开变速踏板,到达 B 点时停止,此时升起插植机构。系统试验设定插秧机行驶速度为多个值,进行多次试验观察控制结果。

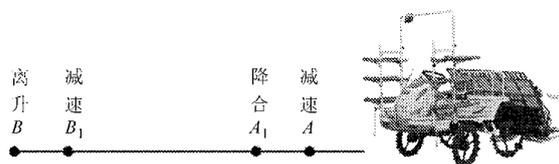


图 9 插秧机行驶路径规划图

Fig. 9 Traveling path plan of rice transplanter

道路试验开始时,先将包含起止作业位置与设定作业速度信息的处方图由田间计算机的任务管理功能下载到智能作业控制器。智能作业控制器根据处方图的要求实现插植作业的自动控制,并控制插秧机行驶在设定速度。

试验结果表明,作业控制系统能够根据处方图的要求在规划的位置完成插秧机插植作业和行走速度的自动控制。当速度值设定分别为 0.5 、 0.8 和 1.0 m/s 时,其速度控制结果如图 10 所示。

由图 10 和表 1 可知,插秧机速度控制的调整时间随着设定值的加大而增加;当速度设定值为 0.5 m/s 时,速度控制的各个误差均最小,控制效果最好;插秧机在不同设定速度下的速度控制平均误差小于 0.0113 m/s ,满足了插秧机作业的需求。

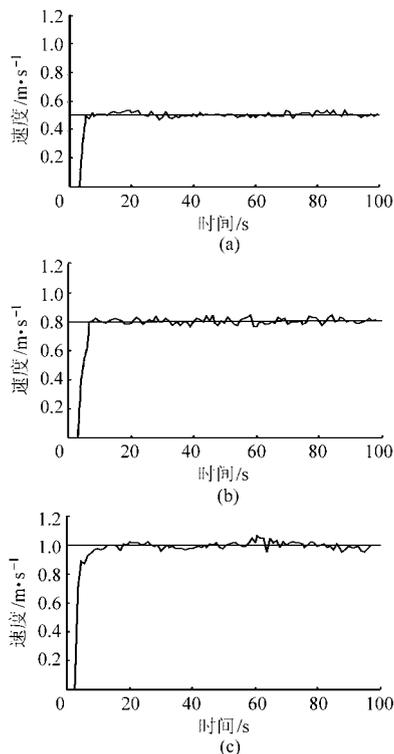


图 10 速度控制试验结果

Fig. 10 Results of speed control

- (a) 0.5 m/s
- (b) 0.8 m/s
- (c) 1.0 m/s

表1 速度控制误差分析

Tab.1 Error analysis of speed control m/s

速度设定值	平均误差	均方差	最大误差
0.5	0.004 0	0.024 8	0.034 7
0.8	0.005 8	0.049 2	0.055 7
1.0	0.011 3	0.041 8	0.603 0

系统,实现了插植机构升降和插植动作启停的电控操作以及行驶速度的自动控制,并与导航系统相配合进行了道路试验。试验结果表明,作业控制系统能够与GPS导航系统相结合,实现插秧机田间作业的智能控制,速度控制平均误差小于0.011 3 m/s,满足了插秧机自动控制的要求。

4 结束语

设计了基于GPS导航系统的插秧机作业控制

参 考 文 献

- Nagasaka Yoshisada, Saito Hidefumi, Tamaki Katsuhiko, et al. An autonomous rice transplanter guided by global positioning system and inertial measurement unit[J]. *Journal of Field Robotics*, 2009,26(6~7): 537~548.
- Nagasaka Yoshisada, Umeda Naonobu, Kanetai Yutaka, et al. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2004,43(3): 223~234.
- 胡炼, 罗锡文, 张智刚, 等. 基于CAN总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J]. *农业工程学报*, 2009,25(12): 88~92.
Hu Lian, Luo Xiwen, Zhang Zhigang, et al. Design of distributed navigation control system for rice transplanters based on controller area network [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009,25(12): 88~92. (in Chinese)
- 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): 95~97,82.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Zhou Zhiyan, et al. Design of GPS navigation control system for rice transplanter[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006,37(7): 95~97,82. (in Chinese)
- 胡炼, 罗锡文, 赵祚喜, 等. 插秧机电控操作机构和控制算法设计[J]. *农业工程学报*, 2009,25(4): 118~122.
Hu Lian, Luo Xiwen, Zhao Zuoxi, et al. Design of electronic control device and control algorithm for rice transplanter [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009,25(4): 118~122. (in Chinese)
- 任文涛, 迟德霞, 刘金波, 等. 遥控插秧机自动转向系统设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2012,43(1): 175~179.
Ren Wentao, Chi Dexia, Liu Jinbo, et al. Design and test on remote rice transplanter automatic steering system [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012,43(1): 175~179. (in Chinese)
- 伟利国, 张权, 颜华, 等. XDNZ630型水稻插秧机GPS自动导航系统[J]. *农业机械学报*, 2011,42(7): 186~190.
Wei Ligu, Zhang Quan, Yan Hua, et al. GPS automatic navigation system design for XDNZ630 rice transplanter [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011,42(7): 186~190. (in Chinese)
- Hu Jingtao, Gao Lei, Hu Hechun, et al. Design and development of an experiment platform for study on agricultural machinery navigation technology[J]. *International Agricultural Engineering Journal*, 2011, 20(2): 30~35.
- Gao Lei, Hu Jingtao, Bai Xiaoping, et al. Agro-machinery automatic navigation control system study for precision agriculture applications [C] // *Proceedings of 2010 International Conference on Broadcast Technology and Multimedia Communication*, Chongqing, 2010. (in Chinese)
- Liu Xiaoguang, Hu Jingtao, Hu Hechun, et al. Design and implementation of visible human-machine interface for trajectory tracking in agriculture vehicle navigation [C] // *2012 International Conference on Intelligent System and Applied Material*, Taiyuan, 2012.
- 颜华, 高希文, 伟利国, 等. 插秧机的自动控制与试验[J]. *农业机械*, 2010(21): 98~99.
- 刘阳春, 高希文, 颜华, 等. 插秧机株距无级调节系统设计与实现[J]. *农机化研究*, 2012,34(3): 130~133.
Liu Yangchun, Gao Xiwen, Yan Hua, et al. Design of stepless regulation system for rice transplanter planting spacing [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012,34(3): 130~133. (in Chinese)
- 李福超, 伟利国, 刘阳春. 基于MSP430F149的水稻插秧机水平智能控制系统[J]. *电子设计工程*, 2010,18(5): 31~33.
Li Fuchao, Wei Ligu, Liu Yangchun. Horizontal intelligent control system of rice transplanter based on MSP430F149 [J]. *Electronic Design Engineering*, 2010,18(5): 31~33. (in Chinese)
- Labrosse J J. *MicroC/OS-II: the real-time kernel* [M]. Oxford: Newnes, 2002.
- 刘金琨. *先进PID控制MATLAB仿真* [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 1~65.