

智能农机自动化作业控制系统设计与试验

隋玉振 韦安帅 刘杰

山东五征集团有限公司

DOI:10.32629/as.v9i7.4122

[摘要] 针对传统农机人工操作作业误差大、用工成本高的现状,本文设计智能农机自动化作业控制系统。系统由定位感知单元、主控单元与执行机构组成,完成软硬件模块化开发,引入改进PID控制策略优化农机路径跟踪精度。通过田间实测试验验证系统性能,试验结果显示农机直线作业横向偏差控制在农艺允许范围内,可完成自主行走、机具自动调控与紧急避障作业。该系统运行稳定,有效降低人工依赖,提升田间作业质量与作业效率,为农用无人驾驶装备研发提供可行方案。

[关键词] 智能农机; 自动化; 控制系统

中图分类号: F324.2 **文献标识码:** A

Design and Testing of an Intelligent Agricultural Machinery Automation Operation Control System

Yuzhen Sui Anshuai Wei Jie Liu

Shandong Wuzheng Group Co., Ltd.

[Abstract] Addressing the significant operational errors and high labor costs associated with traditional manual operation of agricultural machinery, this study proposes an intelligent agricultural machinery automation control system. The system comprises a positioning sensing unit, a main control unit, and an actuator, featuring modular hardware and software development with an improved PID control strategy to enhance path-tracking accuracy. Field tests demonstrated that the system effectively controls lateral deviations during linear operations within acceptable agronomic limits, enabling autonomous navigation, automatic tool adjustment, and emergency obstacle avoidance. With stable performance, the system significantly reduces reliance on human intervention while improving field operation quality and efficiency, providing a viable solution for the development of unmanned agricultural equipment.

[Key words] Intelligent agricultural machinery; Automation; Control systems

1 绪论

随着智慧农业与乡村振兴战略的深入推进,农机智能化、无人化作业已成为现代农业发展的核心趋势。目前国内农业生产正逐步摆脱传统人力耕作模式,精准农业、智能农机装备技术快速普及,各类自动化、智能化农机设备广泛应用于耕、种、管、收全流程作业,大幅推动了农业规模化、集约化发展,智能化改造已成为提升农业生产力的关键手段。

2 智能农机作业控制系统总体方案设计

2.1 农机自动化作业功能需求分析

农业田间作业环境复杂多变,耕地、播种、植保、收割等作业场景工况差异显著。耕地与整地作业场地土壤松软、地面起伏较大,农机行驶阻力不均匀,易出现车体偏移;播种作业对行驶直线度、行距均匀度要求较高,田间残留秸秆、土块易干扰行走稳定性。整体而言,田间非结构化环境干扰多、工况随机性强,

对控制系统的适应性提出较高要求。

2.2 系统设计原则

系统软硬件设计优先保证运行稳定性,核心器件选用工业级设备,具备良好的防尘、防震、抗干扰能力。软件程序设置容错机制与故障保护逻辑,避免传感器异常、信号波动导致作业故障,确保农机在复杂田间工况下持续稳定运行。

整体方案贴合中小型农机改造需求,选用高性价比、易采购的硬件设备,简化冗余结构。控制程序操作简便、适配性强,可直接适配常规耕播、植保农机,降低设备改造成本与后期维护难度,具备较强的实际推广价值。

2.3 控制系统总体架构设计

本文控制系统采用四层分层架构,分别为感知层、决策层、执行层与通信层。感知层负责采集位置姿态、环境障碍、作业状态等数据;决策层为主控核心,完成数据解析、算法运算与控

制指令生成; 执行层接收指令, 完成农机行走与机具作业调控; 通信层实现设备数据传输与人机交互通信, 各层级分工明确、协同工作。

3 智能农机控制系统硬件设计

3.1 硬件系统整体选型方案

综合考虑田间控制实时性、运算能力与成本, 选用工业级单片机作为主控核心。该主控具备多路数字I/O口、模拟采集通道与串口资源, 支持多传感器同时接入, 运算速度可以满足定位数据解算与控制算法实时运行。器件具备宽电压工作范围, 耐震动、耐高温, 能够适应农田多粉尘、温差大的恶劣环境。对比PLC与嵌入式开发板, 主控芯片性价比更高, 程序编写简洁, 非常适合农机改装类控制系统使用。

按照机电分离、强弱电分区的原则进行硬件布局。将主控板、传感器信号线路布置在弱电区, 把继电器、电机驱动等大功率器件布置在强电区, 减少电磁互相干扰。所有元器件固定在防尘电控箱内部, 定位传感器安装在农机车身中轴线位置, 姿态传感器固定于车架刚性部位, 执行驱动线路就近布置在液压与电控执行部件附近, 布线整齐并加装线束保护套管, 满足田间作业防护要求。

3.2 感知模块硬件设计

选用RTK-GNSS定位模块获取农机地理坐标, 定位精度能够满足农田直线作业的农艺要求。模块通过串口与主控相连, 外接有源天线, 保证田间开阔环境下信号连续稳定。电路增加电平转换芯片, 匹配主控串口电压, 增设信号滤波电容, 削弱电压波动造成的数据乱码, 保证经纬度、航向角数据连续稳定输出。

采用陀螺仪与倾角传感器组成姿态检测单元, 实时采集车身横滚角、俯仰角与航向偏差, 弥补GNSS在低速行驶时定位抖动问题。传感器采用I2C通信方式与主控连接, 安装水平校准后固定。线路增加屏蔽线, 降低发动机震动带来的数据漂移, 实现农机车体姿态实时监测, 为路径纠偏提供数据支撑。

配置超声波测距传感器对前方障碍物进行探测, 多路传感器形成检测屏障。同时配套土壤阻力传感器, 实时采集土壤硬度信号, 为作业机具入土深度自适应调节提供依据。传感器均采用直流低压供电, 开关量信号直接接入主控输入引脚, 响应速度快, 可在秸秆、田埂等复杂场景下可靠识别障碍信息。

安装转速传感器监测车轮行驶速度, 配合限位开关采集机具升降位置信号。利用霍尔传感器实时采集执行机构动作状态, 把机具启停、入土深度、行驶速度等作业信息转换成电信号送入主控, 实现整机作业状态闭环采集。

3.3 执行驱动模块硬件设计

采用继电器与固态继电器组成开关驱动电路, 控制行走离合器电磁阀。主控输出弱电信号经过三极管放大后驱动继电器线圈, 触点控制液压油路通断, 实现农机前进、停止的自动控制。电路增加续流二极管, 防止电磁阀断电产生反向电动势击穿元器件。

机具升降依靠液压电磁阀驱动, 多路电磁阀分别控制提升

油缸与作业离合器。主控输出控制信号经过光耦隔离后驱动继电器, 分别控制机具落下入土、升起抬离地面以及播种、植保机构启停动作, 实现作业工序自动切换。

转向机构选用电动舵机或者电液转向阀, 接收主控PWM脉冲信号实现连续角度调节。行驶速度通过电控油门执行器完成无级调速。驱动回路增加信号隔离电路, 保证转向与车速能够跟随路径偏差连续动态调整, 完成直行纠偏与地头自动转弯动作。

3.4 通信与电源模块设计

搭载无线数传模块, 实现下位机主控与触摸屏上位机的数据交互。模块使用串口通信, 外接吸盘天线, 保证田间远距离数据传输稳定, 可实时上传位置、作业参数与故障信息, 同时接收上位机下发的作业航线指令。

整机以农机车载蓄电池作为总电源, 经过多级稳压模块将高压直流电转换为5V、12V多路稳定电压, 分别为主控、传感器、驱动器件独立供电。各路电源相互隔离, 避免大功率执行器件启停拉低电压, 造成传感器数据异常。

所有模拟信号线路使用屏蔽双绞线, 电源线与信号线分开走线。在电源输入端增加压敏电阻、电解电容与陶瓷电容组成滤波电路, 抑制发动机点火、继电器通断带来的电磁干扰。电控箱体可靠接地, 进一步削弱共模干扰, 提升系统在田间电磁环境下的稳定性。

硬件组装完成后分阶段开展调试工作。首先进行各模块通电测试, 逐一检测传感器供电与信号输出是否正常; 随后测试每一路继电器、电磁阀、转向执行机构能否正常响应控制信号; 最后进行整机联合通电试验, 排查线路虚接、电压不稳与信号干扰问题, 优化硬件布线与滤波电路, 保证整套硬件系统能够连续稳定工作, 为后续软件控制程序调试提供可靠硬件平台。

4 智能农机自动化作业控制软件设计

4.1 软件系统开发环境与整体架构

本系统下位机程序在嵌入式开发环境中编写, 采用C语言进行代码开发, 程序编译简洁、执行效率高, 能够满足实时控制需求。程序在线下载调试便捷, 适配主控芯片运行环境, 代码执行延迟低, 可保障多任务同步运行, 适合农机多传感器数据同步处理场景。

软件采用分层模块化架构, 划分为底层驱动层、算法控制层、业务功能层与交互通信层。各模块相互独立, 互不耦合, 便于分段调试与后期功能升级。系统采用轮询与中断结合的运行机制, 保证数据采集优先执行, 再完成控制运算与指令输出。

4.2 底层驱动程序设计

编写中断采集程序, 循环读取定位、姿态、测距传感器输出信号, 对模拟量信号进行模数转换, 对数字信号进行缓存处理。程序设置数据滑动滤波, 剔除跳变噪声, 保证采集数据平稳可靠。编写I/O口输出与PWM脉冲输出子程序, 对转向阀、油门电磁阀、液压升降继电器进行驱动控制, 严格匹配硬件电平逻辑, 实现开关量与连续调节量的精准输出。针对GNSS模块输出的串口报文, 编写数据截取与解码程序, 提取经纬度、航向角信息, 完成

字符串转浮点运算,实时计算农机当前位置与航线偏差,为路径跟踪提供原始数据。

4.3 核心功能软件程序设计

根据地块边界生成平行作业航线,保存起点、转弯点、终点坐标,支持航线手动导入与自主生成,程序自动规划往返作业路线,减少空驶里程。根据横向偏差输出纠偏指令,实现直线自动行驶;到达地头坐标后,程序自动切换为转弯模式,完成掉头并对准下一行作业路线,实现行与行之间精准对位。设置位置触发逻辑,农机驶入作业区域自动落下机具并启动作业机构;到达地头后自动提升机具、停止作业,实现耕播工序自动切换。实时读取测距传感器数值,当检测到前方障碍时,立即暂停行走,重新规划局部绕行路线;遇到紧急工况触发停机保护,保障农机作业安全。

4.4 数据监测与人机交互程序设计

定时保存位置坐标、行驶速度、作业时长等信息,将作业日志存入寄存器,便于后期导出作业记录。编写串口通信程序,实现下位机与触摸屏实时通信,界面包含航线设置、实时轨迹、作业参数修改窗口,操作简单直观。实时检测传感器断线、电压异常等故障,一旦出现异常立即触发声光报警,并锁定执行动作,防止设备误动作。

4.5 软件系统整体调试与功能验证

先对各个子程序单独仿真调试,再进行整机联调。依次验证数据采集、航线跟踪、机具动作与避障功能,不断优化程序响应速度,消除控制滞后问题,最终完成整套软件功能闭环测试。

5 系统整机试验与结果分析

5.1 试验设备与试验场地

试验以常规农用拖拉机为改装样机,搭载本文设计的主控系统、感知传感器、执行驱动机构及无线通信设备。配套检测设备包含高精度定位检测仪、测距校准仪器、测速装置与数据记录仪,可实时采集、存储试验数据,保障测试结果真实有效。

试验选取地势平整、田间秸秆与土块分布均匀的大田地块作为常规试验区域,同时选取存在轻微起伏、田埂遮挡的复杂地块作为对比试验区域。试验期间天气晴朗、风力较小,满足农机自动化作业的试验测试条件,可真实还原实际农田作业工况。

5.2 分项性能试验

对GNSS定位、姿态倾角、超声波避障等传感器进行精度校准试验,对比标准检测数据,分析传感器采集误差与数据稳定性。预设标准作业航线,测试农机行驶轨迹与预设航线的偏差,统计直行、行驶过程中的最大偏差与平均偏差。开展长距离直

行作业与地头掉头转向试验,检验系统纠偏能力、转向平稳度与行间对位精准度。测试农机进出作业区域时机具自动升降、作业机构启停的响应及时性与动作准确率,验证自动作业逻辑可靠性。在作业路径内设置模拟障碍物,测试系统障碍识别、停机避让及应急保护功能的响应效果。

5.3 田间整机综合作业试验

开展长时间连续田间作业试验,检测系统持续运行状态下的稳定性与作业一致性。在地面起伏、少量杂草遮挡等复杂田间环境下开展试验,检验系统工况适配能力与抗干扰性能。通过长时间耐久作业,统计系统故障次数、信号中断情况,评估整机长期作业可靠性。

5.4 试验数据处理与结果分析

对各项试验数据进行分类统计,计算平均值、最大误差与误差分布规律,形成标准化试验数据集。分析作业偏差产生原因,包括定位抖动、地面起伏、机械结构间隙及算法响应延迟等因素。从作业精度、作业效率、人工成本三个维度,对比智能自动化作业与传统人工驾驶作业的优劣性。结合试验现象总结系统不足,如极端复杂障碍识别能力有限、低速工况纠偏精度有待进一步优化等问题,为后续改进提供方向。

6 总结

本文以提升农机自动化作业水平为核心,针对传统农机作业精度低、人工依赖度高、工况适应性差等问题,完成智能农机自动化作业控制系统的整体设计与试验研究。试验结果表明,本文设计的控制系统运行稳定、响应速度快,可实现农机自主路径跟踪、自动转向对位、机具智能启停升降及主动避障功能。系统有效降低田间作业偏差,作业精度与均匀度优于传统人工操作,显著提升农业作业效率,减少人工投入,能够适配多数农田常规作业工况,满足现代农业智能化作业的农艺与生产要求。

[参考文献]

- [1]张慧.精准农业背景下农业机械的智能化与自动化研究[J].河北农机,2025,(5):70-72.
- [2]罗金平.应用农机自动化技术实现农机智能操作的措施[J].当代农机,2024,(12):41-42.
- [3]殷庆武.基于嵌入式技术的农机自动化控制系统开发[J].农机使用与维修,2026,(2):75-78.

作者简介:

隋玉振(1985--),男,汉族,山东济宁人,本科,工程师,主要研究方向机械设计及自动化。