

一种 CDIO 机理下的植保机路径追踪系统优化

马静媛

(石家庄财经职业学院 , 石家庄 050000)

摘 要: 为进一步提高农业无人植保机的作业运行效率,以 CDIO 设计理念为依托,针对其路径追踪系统进行优化设计。以构思、设计、实施、运行为主体思路,在理解植保机的路径控制及动力原理的基础上,设计 CDIO 机理下植保机路径追踪实施步骤,建立路径追踪控制模型。同时,从目标追寻与路径避障入手,对植保机路径追踪系统进行硬件配置,并采取嵌入式路径追踪系统软件控制。进行路径追踪系统运行试验,结果表明:以路径误差、避障成功率及整机作业效率等为主要评价参数,在同等试验条件下,基于 CDIO 设计机理植保机的整机作业效率可提高 6.19%,作业路径追踪误差小于 6.5%,避障成功率可提高 10.92%。该设计思路具有一定的创新性,可为植保机的优化提供参考。

关键词: 植保机; CDIO 机理; 控制模型; 路径误差; 避障成功率

中图分类号: S224.3; S252 文献标识码: A 文章编号: 1003-188X(2021) 07-0041-06
DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2021.07.006

0 引言

随着我国农业技术水平不断朝着智慧化方向发展,植保无人机的应用亦愈发广泛。不少专家学者从多角度致力于植保机的作业效率与避障能力提升方面的研究:如在进行植保机田间喷药作业时采用喷头角度位置精准化、进行检测避障时采用单双目与结构光技术相结合的方法等,均取得了一定成果;另一方面,经过科学验证的 CDIO 项目流程设计规划思维在实际技术领域也得到了很好的应用。该机理分为构思、设计、实现与运作四大板块,笔者拟运用该设计理论,结合系统形成的全生命周期过程,针对植保机的路径追踪系统进行优化设计。

1 植保机作业机理

植保机作为一种代替人工进行农作物喷施、探测作业的智能工具,按照人工作业思想被植入了景象摄取、信息处理、数据转换及准确化输出等系列功能,一套完整的植保无人机在结构上主要由可折叠机臂、喷灌、驱动电机、储存药箱和控制执行装置等组成,其性能参数,如表 1 所示。

植保机的路径控制及动力原理如图 1 所示。其中,电子调速装置与驱动电机相连接,根据获得的控

制信号给出适当的电流信号驱动电机转速,体现在机体螺旋升力上,实现作业飞行的姿态输出。各部件安装的传感器装置实现闭路反馈到飞行姿态输入端形成对比与实时匹配参数调整,最终达到可控的植保机姿态路径。

表 1 智能化植保机核心性能参数设置
Table 1 Setting of core performance parameters of the intelligent plant protection machine

| 序号 | 参数名称 | 参数设置(值) |
|----|----------|-------------------------|
| 1 | 尺寸/mm | 2100×2150×350 |
| 2 | 旋翼直径/mm | 750 |
| 3 | 额定载药量/L | 12 |
| 4 | 电压/V | 50 |
| 5 | IMU 惯性测量 | 三轴加速度计、磁力计 三轴陀螺仪、气压计 |
| 6 | 续航时间/min | 9~9.8 |
| 7 | MCU 处理器 | STM32F405 |
| 8 | USB 接口 | OTG 兼容、高速连接 |

2 路径追踪系统设计

2.1 CDIO 机理追踪模型建立

以 CDIO 为基点,针对植保机建立路径追踪模型,设计如表 2 所示的 CDIO 机理下植保机路径追踪实施

收稿日期: 2019-09-25
基金项目: 河北省人力资源社会保障厅项目(JRSZH-2019-02088)
作者简介: 马静媛(1979-),女,石家庄人,讲师,(E-mail) aw6d13v@163.com。

进展步骤。设计时,以构思、设计、实施、运行为主体思路,流程化地建立并控制各环节关注重点,如路径追踪系统设计操作的合理性与关键技术理解度等重要节点。

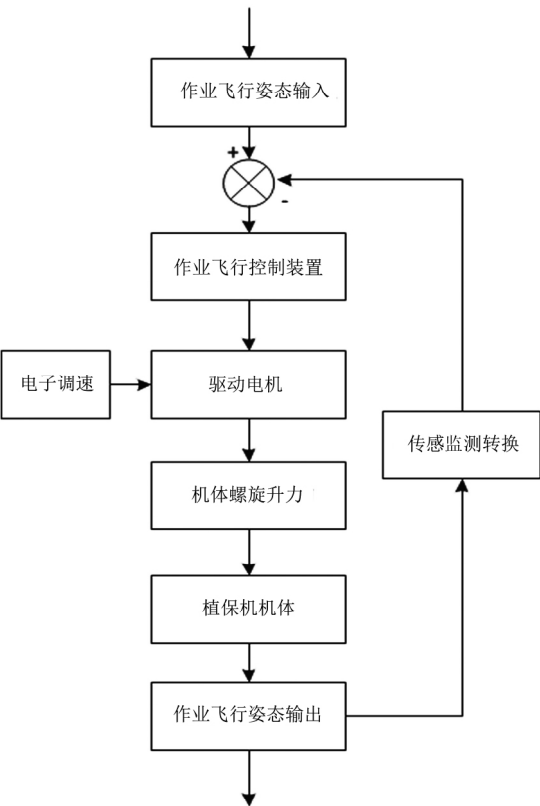


图 1 植保机路径控制及动力原理简图

Fig.1 Path control and power principle diagram of the unmanned plant protection machine

表 2 CDIO 机理下植保机路径追踪系统设计实施进展表

Table 2 Progress table of path tracking system design and implementation of plant protection machine under CDIO mechanism

| 实施环节 | 思路 | 主要目的 | 关注重点 |
|------|------|----------|------------|
| 1 | 提前构思 | 锻炼独立开发立项 | 合理性与可行性 |
| 2 | 研讨设计 | 提高设计规划能力 | 关键技术的理解度 |
| 3 | 方案实现 | 形成系统方案能力 | 多方案对比性 |
| 4 | 现场操作 | 锻炼动手能力 | 强调操作标准与分析 |
| 5 | 验收评价 | 形成项目报告 | 系统优化正确与严密性 |

根据植保机作业特性,考虑路径追踪系统存在定位、导航精度误差等因素,形成 CDIO 机理应用的植保机路径规划布局,如图 2 所示。首先,以构思为引领,建立路径追踪模型并进行算法分析;其次,搭建系统软件平台与硬件设置作为系统设计环节;再次,以地面监控系统与试验为系统实现环节;最后,形成植保机飞行运作规范化评价。

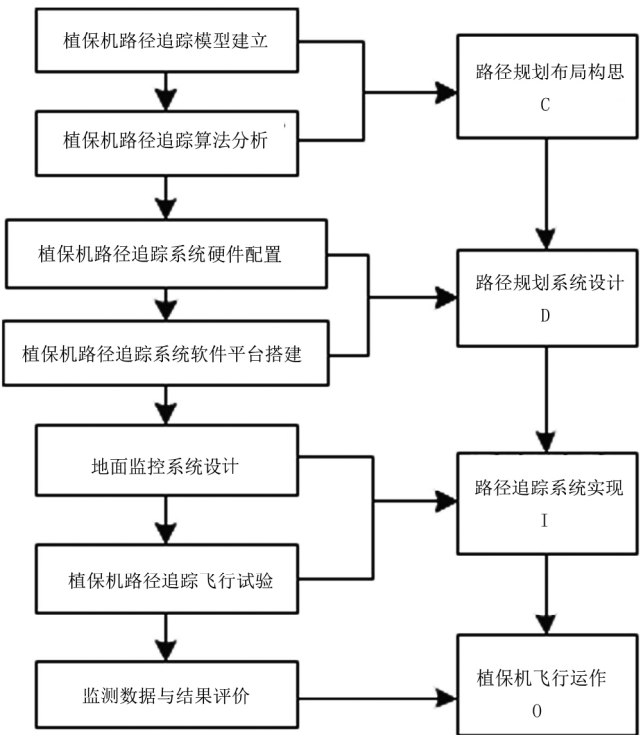


图 2 CDIO 机理应用植保机路径规划布局框图

Fig.2 Block diagram of plant protection machine path planning layout under the application of CDIO mechanism

针对该植保机路径追踪控制环节,对路径追踪系统进行路径优化,融入适应度算法,则适应度综合函数 f 可表示为

$$f = \min f_1 \times f_2 \times f_3 \tag{1}$$

式中 f_1 —植保机路径避障适应度函数;
 f_2 —植保机 RFID 信息识别适应度函数;
 f_3 —植保机作业路径追踪距离最小适应度函数。
结合经典控制模式,得到系统 s 路径追踪控制模型为

$$y = w(s) v = \frac{s}{T_s + 1} v = \frac{1}{T} \left(v - \frac{1}{T_s + 1} \right) \tag{2}$$

式中 v —植保机路径追踪系统输入;
 y —植保机路径追踪系统输出;
 $w(s)$ —植保机路径追踪系统传递函数;
 T —系统取值小的时间常数。

以上述控制模型为运作平台,栅格化处理植保机在各方向角度的路径运动轨迹,得到运动概率为

$$P_f = \frac{\omega_f}{\omega_f + \omega_b + \omega_l + \omega_r} \tag{3}$$

式中 P_f —植保机正常作业向前运动概率;
 ω_f —植保机正常作业向前运动权值分配比;
 ω_l —植保机正常作业向左运动权值分配比;
 ω_r —植保机正常作业向右前运动权值分配比;

ω_b —植保机正常作业向后运动权值分配比。

为准确获取植保机的姿态数据 ,在具有负反馈回路控制模块的基础上 ,优化抗扰动控制模块 ,形成基于 CDIO 机理的植保机路径追踪控制流程 ,如图 3 所示。从目标追寻与路径避障入手 ,经数据融合后 ,接受更新的位姿以判定迭代收敛;采用 LADRC 控制器 ,针对三维度进行二阶线性算法处理 ,控制偏航角的目标值与实际值偏差 ,确定姿态角的运动阈值 ,从而保证一定的植保机路径系统控制增益。

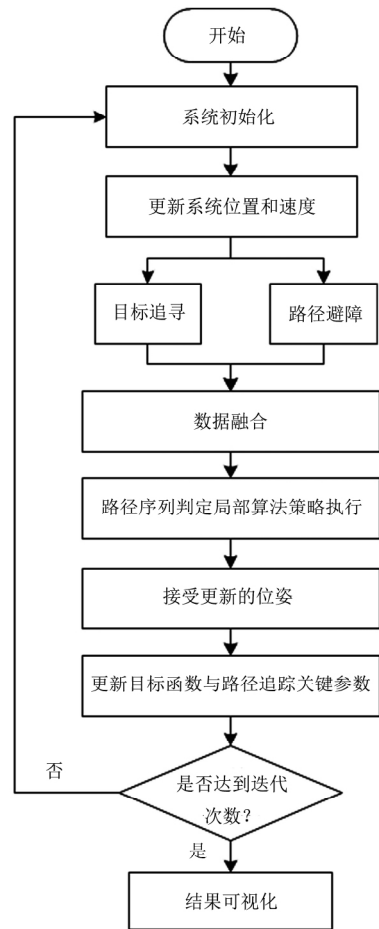


图 3 基于 CDIO 机理的植保机路径追踪控制流程简图

Fig.3 Route tracking control flow chart of plant protection machine based on CDIO mechanism

2.2 路径追踪系统硬件配置

以 CDIO 执行理念为基础 ,对植保机路径追踪系统进行硬件配置。采用震荡电路多样化设计 ,布置如图 4 所示的路径追踪系统硬件电路控制简图。该电路通过采取不同的放大电路对植保机提供的超声波信号进行特定处理。

针对田间环境电磁干扰采用抗干扰耦合途径 ,经线缆传导后至路径追踪系统敏感模块 ,硬件件主要配置功率放大器、定向耦合器、衰减器与信号收发器等 ,各组件以电源供应为条件 ,经搜集、处理、分解、合成、

过滤等操作进行机体路径追踪信号的传递。

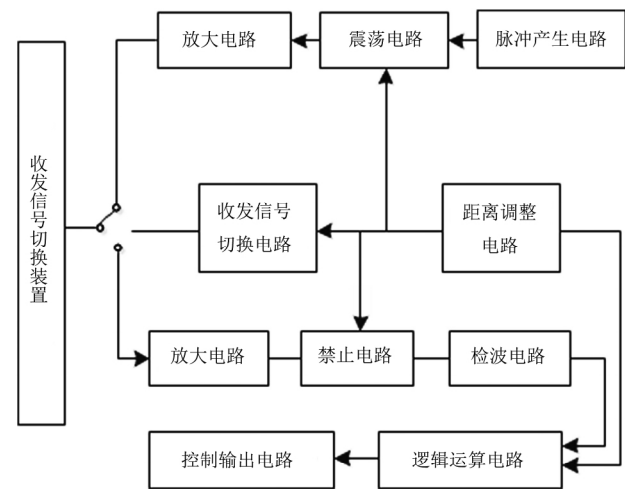


图 4 基于 CDIO 机理的植保机路径追踪系统硬件电路控制简图

Fig.4 Hardware circuit control program of path tracking system of plant protection machine based on CDIO mechanism

针对路径信息的传送与路径测距 ,植保机路径追踪系统数据传感装置 ,并给出主要性能参数设置(见表 3) ,通过大容量的 I/O 接口设计与高速度信息处理芯片 ,在监视植保机作业轨迹的过程中确保数据精度达标。

表 3 植保机路径追踪系统传感电路控制参数设置

Table 3 Control parameters setting of sensor circuit in path tracking system of plant protection machine

| 序号 | 参数名称 | 参数值 |
|----|---------------|------------|
| 1 | 型号 | AT mega25 |
| 2 | IN 电压/V | 7~12 |
| 3 | 数字 I/O 口数 | 54(15PWM) |
| 4 | 模拟输入口数 | 16 |
| 5 | 闪存容量/kB | 256 |
| 6 | EEPROM/kB | 8 |
| 7 | SRAM/kB | 4 |
| 8 | 单 I/O 直流电流/mA | 40 |

2.3 路径追踪系统软件设计

依据 CDIO 理念设计植保机路径追踪系统软件控制程序 ,以 OpenCV 为设计环境 ,采取与地面控制终端相交互的嵌入式路径追踪平台 ,经路径数据信号的初始化设置与轮廓卷积计算后实现植保机的作业轨迹追踪。定义关键函数指令如下:

```
int cvFindContours(
```

```
CvArr* image ,
CvMemStorage* storage ,
CvSeq* first_contours ,
int mode=CV_RETR_LIST ,
int method=CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE ,
CvPoint offset=cvPoint( 0 0) );
...
```

以面向用户即植保机实现路径追踪功能为总目标,将植保机的路径追踪系统划分为上位机、图像处理与地面监测三大模块,侧重于基于 CDIO 机理的植保机路径追踪系统软件控制实现,如图 5 所示。植保机作业过程中,其位置解算数据经多功能的传感器装置发送至地面监控系统,在障碍物识别与路径指令控制响应的层层处理后通过消息发布手段到达上位机系统实现全方位的飞行智能控制并在终端界面完成终端显示,形成流程化的 CDIO 实施与控制。

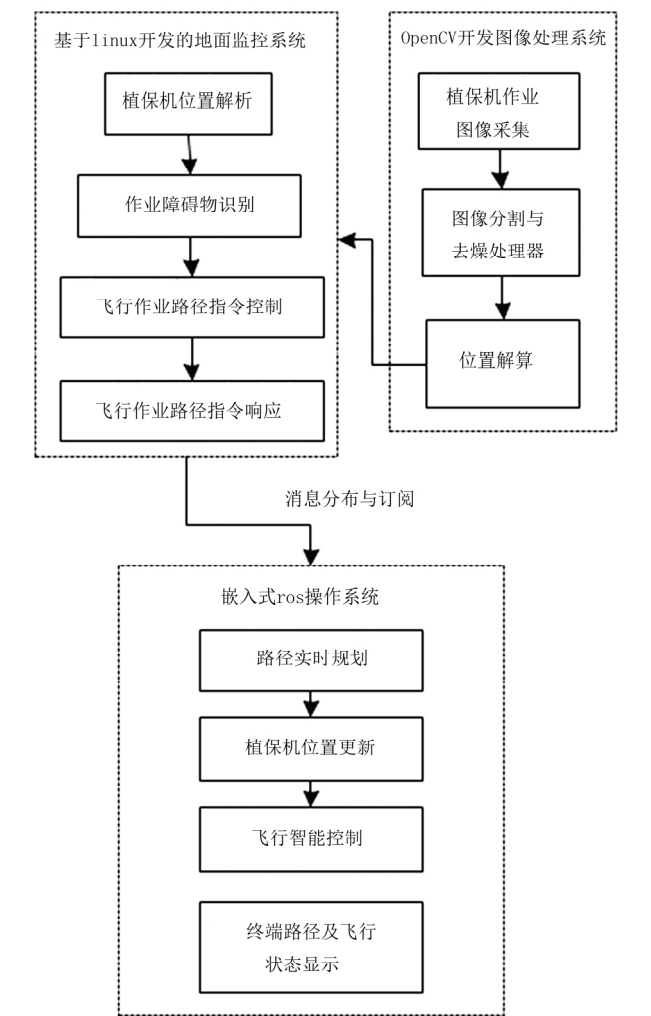


图 5 基于 CDIO 机理的植保机路径追踪系统软件控制实现简图
Fig.5 Software control implementation sketch of plant protection machine path tracking system based on CDIO mechanism

3 植保机作业路径追踪试验

3.1 条件设置

选择面积为 40m² 的冬小麦作为植保机飞行作业试验田,进行路径追踪系统运行试验,按照如图 6 所示的基于 CDIO 机理的植保机路径追踪内部算法执行处理流程展开。路径布置节点经初始化后执行节点数累加,与作业轨迹的总节点对比后执行避障或继续前进操作,在个别路径节点处加入平滑处理算法,确保路径追踪的可靠度。同时,做如下设置:①试验环境温度变化不大,植保机飞行系统稳定;②地面监控装置线路连接良好,信号畅通;③试验设置起始位置、作业时间的一致性。

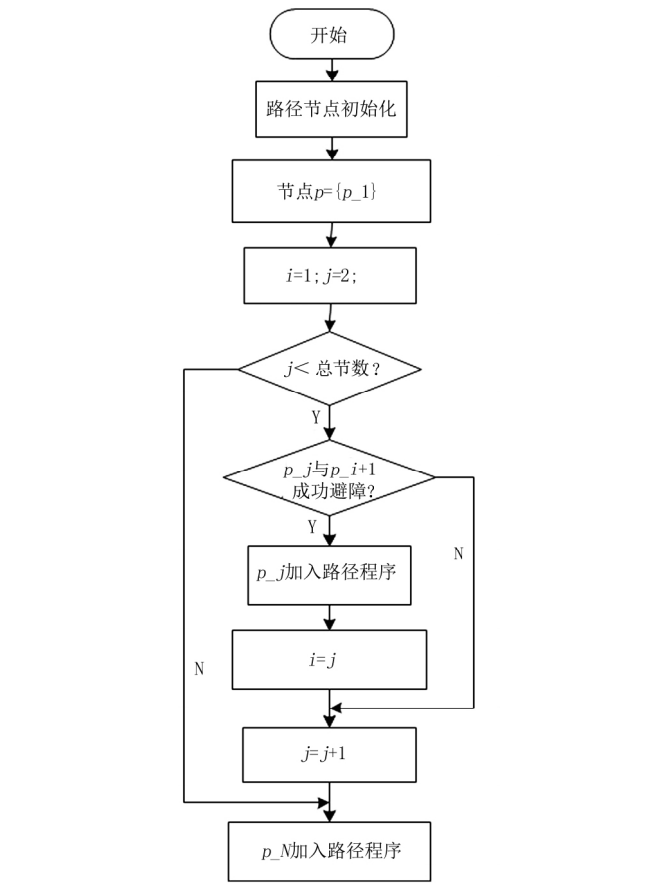
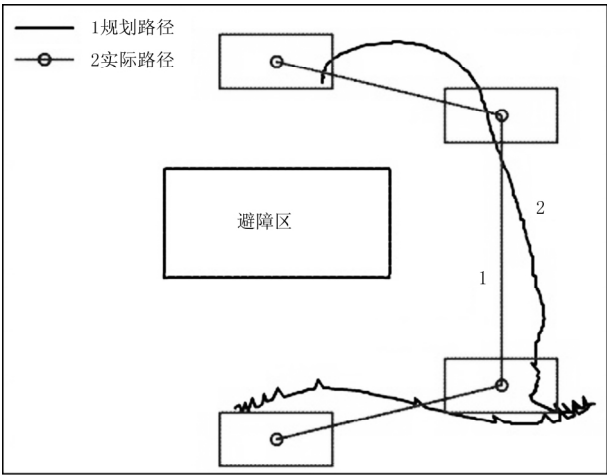


图 6 基于 CDIO 机理的植保机路径追踪内部算法执行处理流程简图
Fig.6 Execution process sketch of the internal algorithm for path tracking of plant protection machine based on CDIO mechanism

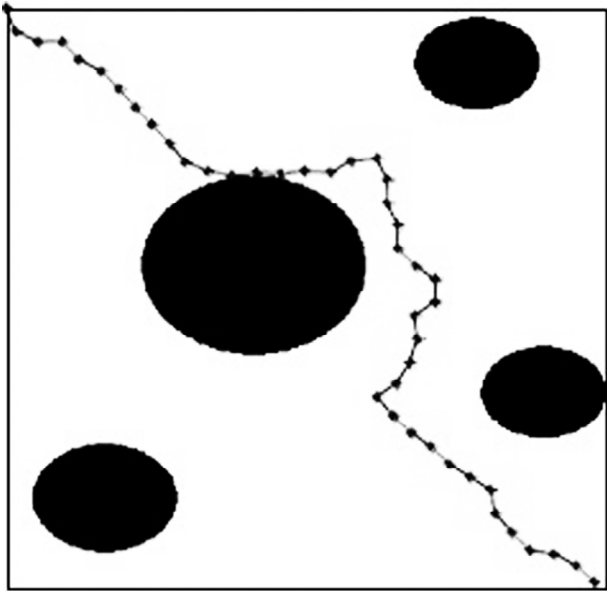
3.2 过程分析

植保机以 5m/s 的作业速度作业,得到如图 7 所示的 CDIO 机理下的植保机作业路径追踪试验效果。由图 7 可知:从视觉角度看,该设计理念下的实际路径与规划路径偏差不大,可以很准确地绕开避障区;进一步对避障节点放大观察,各作业节点针对障碍物可按照内部的执行算法有序执行,关键位置启动了路

径追踪细化处理算法 植保机整机作业运行良好。



(a) 实际与规划路径对比



(b) 作业避障节点获取

图 7 CDIO 机理下的植保机作业路径追踪试验效果图

Fig.7 Operation path tracking test effect sketch of the plant protection machine based on CDIO mechanism

在一定的飞行作业次数条件下,选定路径误差、往返时间、避障成功率及整机作业效率等为主要评价参数,数据换算后,得到基于 CDIO 机理下的植保机作业路径追踪试验数据,如表 4 所示。由表 4 可知:CDIO 理念应用到植保机路径追踪系统设计,整机的往返时间可由原来的 8.53min 缩短至 3.75min,平均续航时间由原来的 8.1min 延长为 9.8min,整机作业效率提高;作业过程中的路径规划误差较 CDIO 理念应用前降低了 4.15%,避障成功率较 CDIO 理念应用前提高了 10.92%,试验效果良好。

表 4 基于 CDIO 机理下的植保机作业路径追踪试验数据统计

Table 4 Statistics of path tracking test data of plant protection machine based on CDIO mechanism

| 评价参数 | CDIO 应用前 | CDIO 应用后 | 对比效果 |
|-------------|----------|----------|--------|
| 路径误差 /% | 10.23 | 6.08 | -4.15 |
| 往返时间 /min | 8.53 | 3.75 | -4.78 |
| 避障成功率 /% | 80.55 | 91.47 | +10.92 |
| 平均续航时间 /min | 8.1 | 9.8 | +1.7 |
| 整机作业效率 /% | 82.72 | 88.91 | +6.19 |

4 结论

1) 将 CDIO 设计理念与植保机的路径追踪系统设计原理相融合,针对系统进行优化设计,并搭建 CDIO 路径追踪控制模型,匹配系统硬件与软件控制,构成完整可实施的植保机路径追踪系统。

2) 进行 CDIO 机理下的植保机路径追踪试验,结果表明:基于 CDIO 设计机理,植保机的整机作业效率可由原来的 82.72% 提高至 88.91%,试验各项评价参数在符合实际作业的基础上均得到显著提升。

参考文献:

[1] 洪向共,张心驰.基于嵌入式的农业无人机航点规划算法研究[J].农机化研究,2019,41(8):45-49.

[2] 王宇,陈海涛,李海川.基于引力搜索算法的植保无人机三维路径规划方法[J].农业机械学报,2018,49(2):28-33,21.

[3] 石翔,马蓉,张长龙,等.基于模糊控制的拖拉机路径跟踪仿真研究[J].农机化研究,2016,38(8):237-241.

[4] 徐钊,胡劲文,马云红,等.无人机碰撞规避路径规划算法研究[J].西北工业大学学报,2019,37(1):100-106.

[5] 马金玉,张涛,马凤鸣,等.自主跟踪行李箱的超声波测控系统的实验教学设计 with 开发[J].实验技术与管理,2018,35(9):194-197.

[6] 戴增辉,何凤琴.智能农机自动导航系统应用研究[J].农机化研究,2018,40(2):202-206.

[7] 李继宇,兰玉彬,施叶茵,等.基于状态预测的田间机-地传感器系统协同采集方式研究[J].农业机械学报,2018,49(6):246-253,277.

[8] 夏坡坡,姚立健,杨自栋,等.基于改进型纯追踪模型的温室 AGV 运输平台路径追踪[J].农机化研究,2019,41(11):52-56,61.

[9] 李滢潞,朱志强,张山,等.基于 CFC-CDIO 理念项目驱动的数字电子技术教学改革[J].实验室研究与探索,

- 2017, 36(8) : 195-199.
- [10] 杜恒.基于足球比赛路径规划的农用无人机定位和导航研究[J].农机化研究, 2019, 41(10) : 238-241.
- [11] 张立军, 相恒富, 李乐乐, 等.基于 CDIO 理念的高效发电虚拟教学实验平台开发[J].机床与液压, 2015, 43(23) : 154-156.
- [12] 陈加栋, 邱白晶, 管贤平, 等.基于二维激光传感器无人直升机作业边界探测[J].农机化研究, 2017, 39(7) : 10-15.
- [13] 郭智兴, 鲜广, 熊计.基于 CDIO 模式的复合材料实验教学方法[J].实验室研究与探索, 2019, 38(6) : 202-205.
- [14] 兰玉彬, 王林琳, 张亚莉.农用无人机避障技术的应用现状及展望[J].农业工程学报, 2018, 34(9) : 104-113.
- [15] 刘泽锋, 唐宇, 骆少明, 等.多旋翼植保无人机变量喷洒系统设计[J].农机化研究, 2018, 40(12) : 47-54.
- [16] 张逊逊, 许宏科, 朱旭.低空低速植保无人直升机避障控制系统设计[J].农业工程学报, 2016, 32(2) : 43-50.
- [17] 徐小杰, 陈盛德, 周志艳, 等.植保无人机主要性能指标测评方法的分析与思考[J].农机化研究, 2018, 40(12) : 1-10.
- [18] 艾长胜, 林洪川, 武德林, 等.葡萄园植保机器人路径规划算法[J].农业工程学报, 2018, 34(13) : 77-85.
- [19] 袁玉敏.农业植保无人机高精度定位系统研究与设计-基于 GPS 和 GPRS[J].农机化研究, 2016, 38(12) : 227-231.

Optimization of Path Tracking System of the Plant Protection Machine Based on CDIO Mechanism

Ma Jingyuan

(Shijiazhuang Vocational College of Finance and Economics , Shijiazhuang 050000 , China)

Abstract: In order to further improve the operational efficiency of agricultural unmanned plant protection machine , the CDIO design concept was selected as the basis for the optimization design of its path tracking system. Based on the idea of conception , design , implementation and operation , and on the basis of understanding the path control and power principle of plant protection machine , the progress steps of implementation of path tracking of plant protection machine under CDIO mechanism was designed , and the path tracking control model was established. Starting with target tracking and path obstacle avoidance , the hardware of the plant protection machine path tracking system was configured , the embedded path tracking system software control was adopted , then the running test of the path tracking system was carried out. The results show that path error , success rate of obstacle avoidance and operation efficiency of the whole machine were selected as the main evaluation parameters , under the same test conditions , based on CDIO design mechanism , the operation efficiency of plant protection machine could be increased by 6.19% , the tracking error of operation path was less than 6.5% , and the success rate of obstacle avoidance could be increased by 10.92%. The design idea would be innovative and provide reference for the optimization of plant protection machine.

Key words: plant protection machine; CDIO mechanism; control model; path error; the success rate of obstacle avoidance