

基于模糊控制算法的智能风筛系统设计

Design of intelligent air screen system based on fuzzy control algorithm

刘洪朋¹林毓梁¹田中才²房文敬³LIU Hongpeng¹ LIN Yuliang¹ TIAN Zhongcai² FANG Wenjing³

(1. 山东职业学院乌拉尔国际轨道交通学院, 山东 济南 250104; 2. 山东凤祥股份有限公司,

山东 阳谷 252327; 3. 聊城大学物理科学与信息工程学院, 山东 聊城 252059)

(1. College of Ural International Rail Transit, Shandong Polytechnic, Jinan, Shandong 250104, China; 2. Yanggu Fengxiang Co., Ltd., Yanggu, Shandong 252327, China; 3. School of Physics Science and Information Technology, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059, China)

摘要:目的:解决风筛机筛选农作物中杂质分离效率低、控制效果不稳定、超调等技术问题。方法:提出一种基于模糊控制算法的智能化风筛系统,选择风速及其变化率作为输入变量,以舵机角度作为输出变量,通过模糊控制规则调节舵机角度,降低风筛超调,从而提高农作物杂质筛选效率,并依靠 Arduino 平台搭建系统进行了现场试验。结果:经过系统测试,在玉米脱出物喂入量 3 kg/s,风量低于 11.7 m/s 限制条件下,风筛达到杂质分离率 93% 以上,无超调现象,设计的模糊控制算法鲁棒性强。结论:该控制系统运行稳定,能够快速根据风速调节筛选板的角度,且控制精度高,具有良好的控制效果。

关键词:智能风筛;模糊控制;arduino;农作物;杂质

Abstract: **Objective:** To solve the technical problems such as low separation efficiency, unstable control effect and overshoot in crop screening by air screen. **Methods:** An intelligent air screen system based on fuzzy control algorithm was proposed. The wind speed and the change rate of wind speed were designed as input variables, and the steering gear angle was taken as output variable. The angle of the steering gear was adjusted by fuzzy control rules to reduce the overshoot of the screen, so as to improve the screening efficiency of crop impurities. **Results:** Through the system test, under the condition of 3 kg/s feeding amount and 11.7 m/s air volume, the impurity separation rate of air screen was more than 93%, no overshoot phenomenon, the designed fuzzy control algorithm was robust. **Conclusion:** The control system runs stably and can quickly adjust the angle of the

screening plate based on wind speed, with high control accuracy and good control effect.

Keywords: intelligent air classification; fuzzy control; arduino; crops; impurities

近年来随着科学技术的发展,中国正在大力提倡并推进农业机械装置的现代化,在农业机械设备领域,尤其是针对粮食食品加工行业尤为突出。农作物在进行面粉磨制之前需进行筛选,筛选工作的效率将大大影响食品后续加工的质量。

对于谷物这种轻型杂质通常选用风筛法,即利用谷物及杂质在空气中悬浮速度的不同采用滤网进行分选。现在常用的风筛装置主要是大型的粮食清理设备,并且风筛处理过程是动态的复杂过程,一般的控制方法难以达到要求。在实践中,多依靠人工经验进行风筛风量的判断,能耗较大且控制效果不稳定^[1-2]。国内外众多研究者对风筛装置的设计进行了多方面的研究与分析设计。例如,贾勉等^[3]对国内外实验室小麦作物的粮食清理设备进行了详细的分析与介绍。林恒善等^[4]研究了影响风力的 3 个主要因素,即风机的转速、离心机的出风口角度、贯流风机的转速方面对风机清选的效果。刘建军^[5]提出在脱谷机风筛机构的出风口处装置一个伸缩式可调挡板,使风筛装置风道成为流线形,以提升风筛的效果。毛雨晗等^[6]提出了一种拆卸组装方式,即底部供风,配合载物滤网和圆柱形风道产生涡旋谷粒流的方式,同时利用蓝牙和手机信息管理系统控制构成的风筛装置。

针对目前市场上的风筛机,风速不易控制,不能针对不同大小、不同质量的谷类进行风筛,起筛选作用的出口导向板不能配合风速进行夹角角度的调节,风速与角度控制容易发生超调现象,研究拟设计一种基于模糊控制

基金项目:山东省自然科学基金(编号:ZR2021MF070);山东省职业教育教学改革项目(编号:20211164)

作者简介:刘洪朋(1985—),男,山东职业学院讲师,硕士。

E-mail: 407896680@qq.com

收稿日期:2023-03-17 **改回日期:**2023-09-15

智能风筛系统,根据模糊控制算法来实现依据风筛机风速灵活控制出口导向板的角度,以期为提高智能风筛系统的杂质筛选率提供依据。

1 系统整体设计

智能风筛系统由风筛控制台模块、腔体模块和出口导向模块构成。风筛控制台模块由风速控制按钮、Arduino 控制模块和风机构成,可以实现操作人员对风筛系统风速控制的功能。出口导向模块由 Arduino 控制模块和舵机构成,Arduino 控制模块接收风筛控制台模块传来的风机转速信号,根据模糊控制算法完成对舵机的控制,达到对出口导向板角度的控制功能,完成不同谷物及谷糠的收集,能够有效地将谷物和杂质相分离,降低风筛风速超调问题。扬谷腔体由多块亚克力板密闭构成,避免谷糠带来的环境污染,具有环保作用。系统原理图如图 1 所示。

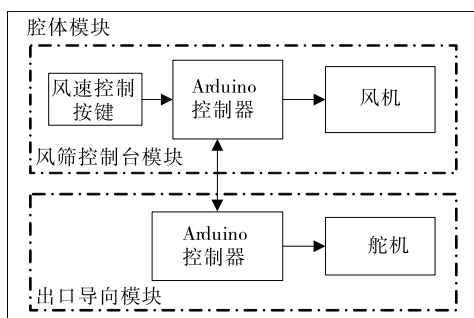


图 1 系统结构框图

Figure 1 Whole structure of system

2 系统硬件设计

2.1 Arduino 控制板

Arduino 是一种开源硬件控制平台,具有自己的集成开发环境 (IDE),可以轻松互连并以适当的所需配置组合,目前在全球嵌入式开发领域有很大的份额,其价格低,功耗低,可靠性高,具有良好的连接性能。智能风筛系统使用的 Arduino 单元为 Arduino UNO R3,核心处理器是 ATmega328,具有模拟/数字输出接口,支持 I2C 和 SPI 通信协议。

2.2 舵机

舵机由直流电机、减速齿轮组、传感器和控制电路组成,是一套自动控制装置。智能风筛系统出口导向板质量不高,旋转角度 $0 \sim 90^\circ$,采用的是 MG996R 舵机,该舵机产品拉力为 92.2 N(4.8 V),完全满足系统要求,且接口简便便于连接。对于导向板控制,需要左右两侧两个舵机协同工作,舵机转向相反。舵机控制角度图如图 2 所示。

2.3 系统连接

智能风筛系统利用控制台上的控制面板来调节风机

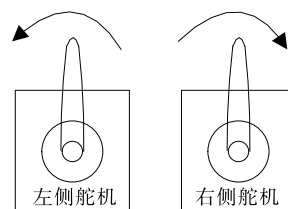


图 2 出口导向板舵机控制角度原理图

Figure 2 Schematic diagram of servo control angle

风量大小,并向扬谷腔体内送风;粮食经进料口的杂质筛选板筛选后进入扬谷腔体,舵机控制模块通过控制面板设置舵机角度,带动出口导向板对不同的谷物进行筛选,能够有效地将粮食和杂质进行分离。系统功能原理图如图 3 所示。

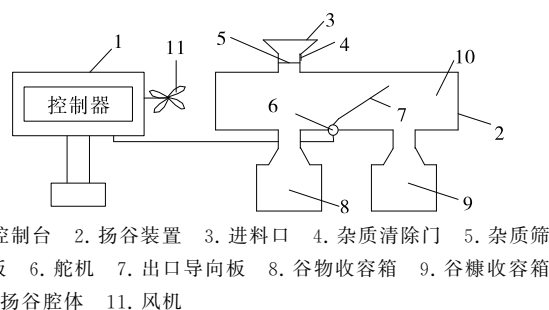


图 3 系统功能原理图

Figure 3 Schematic diagram of the control system

2.4 控制部分设计

智能风筛系统控制部分主要由 ATmega328 作为核心处理器的 Arduino UNO,风机速度控制模块和舵机角度控制模块组成。对于电机控制主要有两种方法来产生控制电机的 PWM 脉冲波,分别计数器定时和软件延时^[7]。研究主要采用软件延时法生成 PWM 脉冲波。Arduino UNO 具有可自定义的 PWM 端口,可以灵活控制电机转速,通过具有模拟量读取功能的 A0 口读取当前调速指令,利用模糊控制算法判断规则生成对应风速及舵机 PWM 占空比参数,重新修改速度参数进行修正,输出控制风速电机与筛选板舵机。硬件电路原理图和系统程序流程图如图 4 和图 5 所示。

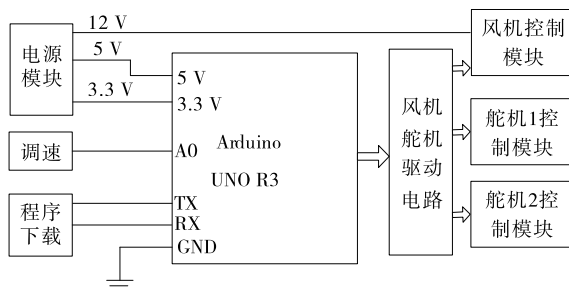


图 4 硬件电路原理图

Figure 4 Schematic diagram of hardware circuit

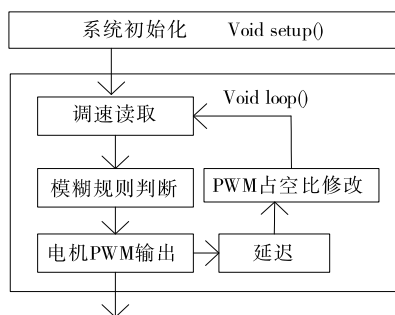


图 5 系统程序流程图

Figure 5 Flow chart of whole system

3 模糊控制算法设计

一般对于滞后性能比较大,负载具有非线性特性的复杂风机控制系统,可以采用模糊控制算法,使风筛机风速能够达到准确及时地跟随出口导向板的角度控制,达到良好的控制效果,满足工业现场的需求。

3.1 系统数学模型的建立

目前存在的风筛模糊控制系统的控制对象大多数都是时间可变、存在控制效果滞后,并且控制对象不稳定,控制量很容易产生超调,风筛杂质率达不到企业 and 国家标准。在应用中经常采用结合专家经验及试验结果来近似等效该数学模型。由于风速的变化及舵机角度跟随过程是一个大时间常数的惯性过程,所以可以等效为比例环节。系统的数学模型可以近似等效成带纯滞后的一阶惯性环节^[8-11],其系统表达式为:

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau_s}}{T_s s + 1}, \quad (1)$$

式中:

K ——系统的增益系数,dB;

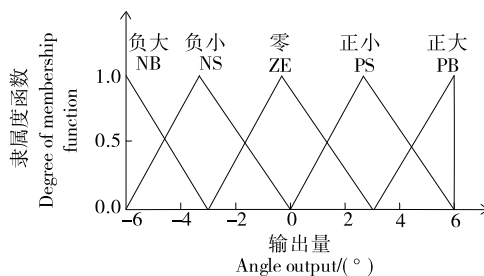
τ_s ——滞后,s;

T_s ——惯性时间常数,s。

3.2 模糊控制器的设计

(1) 模糊控制器的语言变量:模糊控制器的输入为风机风速 e 及风速的变化率 de/dt ,其语言变量分别为 E 和 EC ,输出变量为舵机对应角度 R ,其语言变量为 U 。研究采用的模糊控制器是一个双输入单输出的模糊控制器。

(2) 模糊变量的隶属度函数:输出语言变量 E 、 EC 和输出语言变量 U 的模糊子集为{负大,负小,零,正小,正大},简记为{NB,NS,ZE,PS,PB},为了保证风机风速与舵机角度的对应阈值,将 EC 、 E 和 U 的论域精确量离散化,划分为 13 个等级,即{-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6},隶属度函数 μ 默认为三角形函数,参照文献[4—6]中介绍的模糊工具箱得出隶属度函数,如图 6 所示。

图 6 隶属度函数 μ Figure 6 Degree of membership function μ

(3) 确定模糊控制规则:根据实验室搭建的风筛系统的实际情况和现场操作人员的经验,该系统采用 25 条控制规则。控制规则采用的形式表示为:“if E and C then U ”。

模糊控制规则设计见表 1。在推理求出控制决策 U 后,按照隶属度最大值原则得到对应输入相应的决策量,反复调试修改后得到模糊控制表,将表存于存储器内,根据风速 E 、风速变化率 EC 直接由模糊控制表得到对应控制量,再乘以比例系数即可作为输出控制舵机角度,进而实现风筛控制。

4 试验结果分析

在实验室搭建系统模型,进行多次测试获取仿真数据,根据试验结果,选取 $K = 0.89$ dB, $T_s = 10.2$ s, $\tau_s = 4$ s。利用 Matlab 仿真软件搭建 Simulink 进行仿真,结果如图 7 所示。

从图 7 可看出,在系统模糊参数限定条件下,风速按照幅值 $[-1, 1]$ 正弦调整摆动,舵机角度控制也呈现 1.5 个周期摆动,系统延时为 0.9 s,基于模糊控制算法智能风筛系统基本无超调,过度平缓,能够跟随风速控制出口导向板的角度进行控制,整个控制过程中没有失调,鲁棒性强,取得了良好的控制效果。将设计的基于模糊控制算法的风筛系统搭建完毕后,选取玉米籽粒进行测试^[11],由于农业农机风筛系统在分析时,需要考虑的外在因素比较多,如振动频率与下料速度等。经过测试,在玉米脱出物喂入量 3 kg/s 条件下,风量低于 11.7 m/s 时,风筛效果较好,达到国家标准(GB 1353—2018)中规定的

表 1 模糊控制规则表

Table 1 The table of fuzzy control rule

EC	E				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	PB	PB	ZE	NB	NB
NS	PS	PS	ZE	NS	NS
ZE	PB	ZE	ZE	ZE	NB
PS	NS	NS	ZE	PS	PS
PB	NB	NB	ZE	PB	PB

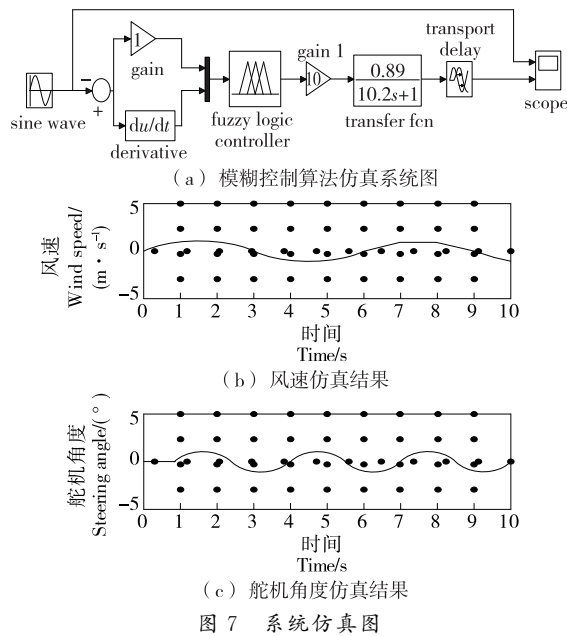


Figure 7 The simulation diagram of the system

1 等级类玉米杂质、不完善粒、霉变粒含量筛选 93% 以上要求。统计结果如表 2 所示。

表 2 不同风速条件下的清洁率

Table 2 Cleanliness rate under different wind speed conditions

入口风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	清洁率/%	
	仿真值	试验值
2.0	94.3	94.53
2.5	94.3	94.83
5.8	94.5	94.93
7.4	94.2	94.74
9.6	93.9	93.83
11.7	84.5	80.50

5 结论

研究搭建的基于 Arduino 处理器的硬件系统平台，编程实现了 PWM 波对电机的控制，与现有的技术方式相比，在规定情况下，风筛杂质清洁率能保持在 93% 以上。该系统结构简单，具有良好的控制效果，操作方便，成本低，根据风速无超调控制杂质筛选板，快速实现风速与筛选板的角度控制。后续将进一步考虑完善材料类型和下料速度等更多食品筛选环节不断完善整个系统。

参考文献

[1] 潘玉成, 林高飞, 陈小利, 等. 基于模糊专家控制的茶叶炒制温度控制系统[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 79-84.
PAN Y C, LIN G F, CHEN X L, et al. Tea frying temperature control system based on fuzzy expert control[J]. Food & Machinery,

2016, 32(11): 79-84.
[2] 熊中刚, 刘忠, 王寒迎, 等. RBF 神经网络增量式 PID 自动转向控制系统设计[J]. 农机化研究, 2021(4): 27-30.
XONG Z G, LIU Z, WANG H Y, et al. Design of RBF neural network incremental PID automatic steering control system [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021(4): 27-30.
[3] 贾勉, 武文斌, 苑兵丰. 国内外实验室粮食清理设备的现状及发展[J]. 粮食加工, 2015, 40(1): 52-55.
JIA M, WU W B, YUAN B F. The current situation and development of laboratory grain cleaning equipment at home and abroad[J]. Grain Processing, 2015, 40(1): 52-55.
[4] 林恒善, 李耀明. 风力因素对风筛式清选效果影响的试验研究[J]. 中国农机化, 2005(1): 62-64.
LIN H S, LI Y M. The effects of wind force factors upon air-and-screen cleaning results [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2005(1): 62-64.
[5] 刘建军. 脱谷机风选机构出风口的改进[J]. 农业机械, 1996(8): 24.
LIU J J. Improvement of the air outlet of the threshing machine's air selection mechanism[J]. Farm Machinery, 1996(8): 24.
[6] 毛雨晗, 王一格, 贡亮, 等. 一种基于人机交互的谷物实秕粒多级风选装置及方法[J]. 机电一体化, 2016, 24(12): 3-5.
MAO Y H, WANG Y G, GONG L, et al. A multistage winnowing fulfilled and unfulfilled grains device and method based on Human-computer interaction[J]. Mechatronics, 2016, 24(12): 3-5.
[7] 刘洪朋, 葛广英, 周松林. 基于 Zigbee 的电槽槽温度智能控制系统设计与实现[J]. 自动化与仪表, 2012, 27(2): 37-40.
LIU H P, GE G Y, ZHOU S L. Design and implementation of intelligentize control system about the Elector-bath's temperature based on Zigbee[J]. Automation and Instrumentation, 2012, 27(2): 37-40.
[8] 郝晓弘, 张阳, 高鹏飞. 一种风机模糊控制系统的设计[J]. 工矿自动化, 2010, 24(4): 47-49.
HAO X H, ZHANG Y, GAO P F. Design of a fan fuzzy control system[J]. Journal of Mine Automation, 2010, 24(4): 47-49.
[9] 王艳, 陈静, 王志山, 等. 基于模糊神经网络 PID 控制的粉体包装计量控制系统[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 136-139.
WANG Y, CHEN J, WANG Z S, et al. Powder packaging measurement control system based on fuzzy neural network PID control[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 136-139.
[10] 侯华铭, 崔清亮, 陈益胜, 等. 谷子收获机风筛式清选装置试验[J]. 农业工程, 2022, 12(8): 105-109.
HOU H M, CUI Q L, CHEN Y S, et al. Test on the air screen cleaning device of millet harvester[J]. Agricultural Engineering, 2022, 12(8): 105-109.
[11] 李洋, 梁昌, 马继卿, 等. 贯流风筛清选装置内玉米脱出物运动规律研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 123-127.
LI Y, LIANG C, MA J Q, et al. Motion law of maize mixture in cross air-and-screen cleaning device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 123-127.