

辊轴式对虾剥壳机控制系统设计与试验

熊 师¹ 李 佳² 周利明² 陈远辉³ 白圣贺² 方宪法²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室, 北京 100083;
3. 广东省现代农业装备研究所, 广州 510630)

摘要: 针对目前辊轴式对虾剥壳机存在的物料规格适应性差、自动化程度不高等问题,研究了基于机器视觉技术的物料信息检测方法和设备运行参数控制技术,设计了辊轴式对虾剥壳机参数检测与控制系统。该系统主要由图像采集模块、参数检测模块和控制模块3部分组成,能够实现剥壳机主要参数的实时检测和优化调控。通过分析对虾像素数量与对虾质量的关系,结合对虾规格划分范围,提出了对虾规格和对虾喂入速率的检测模型。根据剥壳机的工作特点,提出了辊轴转角和转速、挺杆频率、原料提升带转速和水流速率的检测方法。试验结果表明,对虾规格、喂入速率、辊轴转角、辊轴转速、挺杆频率、原料提升带转速、水流速率的检测误差分别为0、3.46%、0.51%、1.73%、1.93%、3.34%、0.92%;辊轴转角、辊轴转速、挺杆频率、原料提升带转速的控制误差分别为0.53%、1.04%、2.15%、3.34%。该系统实现了对虾剥壳机运行参数的自动调控。

关键词: 对虾剥壳机; 参数检测; 图像识别; 控制系统

中图分类号: S985.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2021)S0-0457-09

Design and Test of Control System for Roller Shrimp Peeling Machine

XIONG Shi¹ LI Jia² ZHOU Liming² CHEN Yuanhui³ BAI Shenghe² FANG Xianfa²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Soil-Plant-Machine System Technology,

Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

3. Guangdong Modern Agricultural Equipment Research Institute, Guangzhou 510630, China)

Abstract: The commonly used shrimp peeling equipment is roll shaft shrimp peeling machine. However, the machine can not adapt to shrimp material feeding information in real time and lacks automatic control system. Aiming at the problems of poor material adaptability, low degree of automation, lack of parameter acquisition ability existing in the roller shrimp peeling machine, the material information detection method and equipment operation parameter detection method based on machine vision technology were studied, and the parameter detection and control system of the roller shrimp peeling machine was designed. The system was mainly composed of image acquisition module, parameter detection module and control module, which can realize the real-time detection and optimal control of the main parameters of peeling machine. By analyzing the relationship between the number of shrimp pixels and the quality of shrimp, combined with the range of shrimp size, the detection model of shrimp size and feeding rate was proposed. According to the working characteristics of the peeling machine, the detection methods of roll shaft rotation angle and speed, tappet frequency, raw material lifting belt speed and water flow rate were proposed. The results of parameter monitoring test showed that the monitoring errors of shrimp size, feeding rate, roll rotation angle, roll rotation speed, tappet frequency, raw material lifting belt rotation speed and water flow rate were 0, 3.46%, 0.51%, 1.73%, 1.93%, 3.34% and 0.92%, respectively. The control errors of roll rotation angle, roll rotation speed, tappet frequency and raw material lifting belt rotation speed were 0.53%, 1.04%, 2.15% and 3.34%, respectively.

Key words: shrimp peeling machine; parameter detection; image recognition; control system

收稿日期: 2021-07-10 修回日期: 2021-09-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0700904, 2017YFD0701704)

作者简介: 熊师(1994—),男,博士生,主要从事机械设计及理论研究, E-mail: xiongs565@126.com

通信作者: 方宪法(1963—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化研究, E-mail: fangxf@caams.org.cn

0 引言

对虾的前处理流程主要包括:清洗、分级、排序定向、去头、开背、去肠线和剥壳^[1-6]。其中剥壳是虾前处理流程中最关键的环节之一,直接影响虾仁的质量。目前普遍使用的对虾剥壳装备为辊轴式对虾剥壳机,该机具有处理能力强、剥壳率高的优势。但是在剥壳作业过程中,物料规格、喂入量等物料信息的变化导致剥壳机的工作参数需要适时调整,以保持设备处在最优的剥壳状态。目前该机只能通过人工判断物料信息,然后手动输入参数的方式控制剥壳机运行状态,剥壳质量主要取决于工人经验。无法实时获取辊轴式对虾剥壳机的物料喂入信息、缺乏自动化的控制系统是该机存在的主要问题,也是影响对虾剥壳机加工质量与效率的关键因素。

目前辊轴式对虾剥壳机处于半自动化作业阶段^[7-10],还未有全自动化的方案。采用机器视觉技术进行物料的识别和信息获取已被证明是可行的^[11-15],针对去头对虾的物料信息检测工作还有待开展。

针对目前辊轴式对虾剥壳机存在的物料规格适应性差、自动化程度不高、缺乏参数获取能力等问题,研究物料信息在线检测技术和剥壳机运行参数检测与控制方法,设计辊轴式对虾剥壳机参数控制系统,实现剥壳作业参数的实时检测和优化调整。

1 辊轴式对虾剥壳机结构

辊轴式对虾剥壳机主要由原料提升带、辊轴机构、挺杆、喷水装置等组成,如图 1 所示。辊轴机构采用两段式剥壳结构,上段为揉搓段,由 3 个大辊和 2 个小辊交叉排列组成剥壳通道。下段为挤压剥壳段,由 3 个大辊平行排列组成剥壳通道。辊轴通过正反交替转动的方式进行剥壳。挺杆由转动凸轮驱动,形成上下往复运动,对剥壳通道内的对虾进行规律性的揉搓和挤压。



图 1 辊轴式对虾剥壳机

Fig. 1 Roller shrimp peeling machine

1. 原料提升带 2. 喷水装置 3. 挺杆 4. 辊轴机构

原料提升带的转速影响对虾的喂入速率,辊轴转动参数和挺杆浮动频率影响剥壳效果,喷水装置的水流速率影响对虾的湿润程度,防止对虾与机械部件粘连。因此辊轴式对虾剥壳机的主要运行参数为原料提升带转速、辊轴转速和转角、揉搓振动频率和水流速率。辊轴由伺服电机驱动,原料提升机、挺杆和喷水装置均由相应的变频电机驱动,因此剥壳机的主要控制对象为这两种电机。

2 对虾识别与检测方法

辊轴式对虾剥壳机的物料参数主要是对虾规格和喂入速率。根据生产经验,不同的对虾规格需要不同的机器剥壳参数。喂入速率会影响剥壳机的处理能力和剥壳效果。因此需要对原料提升带上对虾的规格和喂入速率进行实时检测。

2.1 对虾图像采集

图像采集系统由摄像头、支架和上位机组成,如图 2 所示。摄像头选择罗技 c920e 型,具有图像清晰、适应能力强、成本低的优点。该摄像头视野角为 72°,能够自动变焦和自动曝光,具备 30 帧/s 的图像采集能力。



图 2 图像采集系统

Fig. 2 Image acquisition system

1. 摄像头 2. 支架

由于机器视觉检测的目标为对虾规格和数量,因此无需太高的检测精度。综合对虾实际尺寸,图像精度在 1 mm 以内即可满足要求。因此对虾摄像头安装高度设计为 500 mm,图像分辨率设置为 1 280 像素×720 像素。

2.2 对虾识别方法

分析采集到的对虾图像发现,对虾在输送带上主要呈现分散平铺的状态,部分对虾之间存在粘连和堆叠的情况。目前对虾检测方法多采用传统图像处理方法^[16-20]。依靠阈值分割等图像处理的方法无法解决粘连和堆叠情况下对虾准确识别的问题,因此引入卷积神经网络 YOLO v3 进行对虾图像的识别。

通过 Labellmg 软件对图像进行训练样本的真值标定,在 YOLO v3 网络的基础权重下进行迭代训练,得到的对虾识别效果如图 3 所示。图 3 表明该

网络模型能够有效识别粘连和堆叠情况下的对虾。选择多幅图像进行识别准确率测试,结果表明对虾的平均识别率为 96.9%,可有效去除残壳和杂质干扰,满足要求。

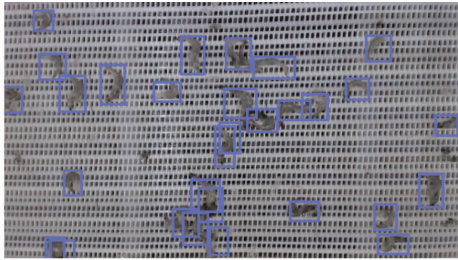


图 3 对虾识别效果

Fig.3 Shrimp recognition effect

2.3 对虾参数检测方法

2.3.1 像素数量与质量的关系

对虾的规格一般是按照 1 kg 的对虾数量来划分,即用质量参数进行量化。分析可知,对虾图像所占区域包含的像素点数量与对虾的质量密切相关,因此建立对虾图像的像素点数量与对虾质量的对应关系即可实现对对虾规格的检测。

辊轴式对虾剥壳机主要处理去头后的对虾,因此需要建立去头对虾图像的像素点数量与去头前对虾质量的关系模型。

称量 100 只不同规格对虾,去头处理后,采集每只虾的图像,得到每只对虾的去头图像的像素数量和去头前的质量,其分布情况如图 4 所示。由图 4 可知,对虾像素数量与质量之间成正相关性,存在一定的线性关系。

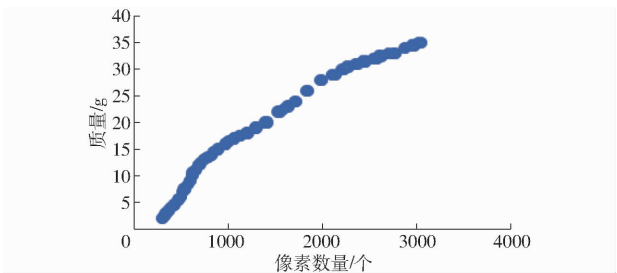


图 4 对虾质量与像素数量的关系

Fig.4 Relationship between shrimp mass and pixel number

根据图 4 分布规律,对像素数量与质量之间的关系进行线性相关性分析。通过曲线拟合得到二次线性模型的相关性最高,相关系数为 0.993 8。因此根据去头对虾像素数量预测去头前对虾质量用二次线性关系合适,预测模型为

$$y = -0.000\ 003x^2 + 0.022x - 3.370\ 4 \quad (1)$$

式中 x ——去头后单只对虾的像素数量,个

y ——去头前单只对虾质量,g

2.3.2 对虾规格检测模型

根据对虾预处理工艺可知,辊轴式对虾剥壳

机处理的对虾是经过分级之后的。同一批次的对虾规格基本相同,一幅图像中的每只对虾的面积相差小,只有少量的对虾存在堆叠情况,因此通过平均像素点的方法表示一幅图像中每只虾的大小是可行的。

采用图像处理的方法可以获得图像中所有对虾的像素点数量,流程如下:彩色图像、图像增强、灰度变换、阈值分割、杂质滤除,可以得到二值图像,然后计算感兴趣区域的像素数量。

采用平均像素法计算得去头后单只对虾的像素数量为

$$x = N/N' \quad (2)$$

式中 N ——图像中感兴趣区域的像素数量,个

N' ——识别的对虾个数,个

综合式(1)、(2)可得单只对虾质量计算式为

$$y = -\frac{0.000\ 003N^2}{N'^2} + \frac{0.022N}{N'} - 3.370\ 4 \quad (3)$$

根据实际生产中对虾的规格划分和对虾剥壳生产经验,进一步将 54 ~ 110 只/kg 的对虾归类为中型虾,将低于 54 只/kg 的对虾归类为大型虾,将高于 110 只/kg 的对虾归类为小型虾。结合式(3)可得到对虾规格的检测模型,如图 5 所示。

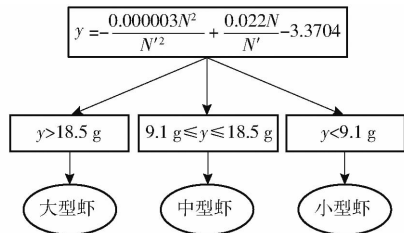


图 5 对虾规格的检测模型

Fig.5 Detection model of shrimp size

2.3.3 对虾喂入速率检测模型

根据对虾的识别结果,结合原料提升带的转速和转动半径可得对虾喂入速率计算式为

$$D = 0.002\ 1N'yn_1 \quad (4)$$

式中 D ——原料提升带上对虾喂入速率,kg/min

n_1 ——原料提升带转速,r/min

根据单只对虾质量的计算方法,结合式(4)可得到对虾喂入速率的检测模型为

$$D = -6.3 \times 10^{-9} \frac{n_1 N^2}{N'} + 4.62 \times 10^{-5} n_1 N - 0.007 n_1 N' \quad (5)$$

3 剥壳机参数检测方法

3.1 辊轴转动参数检测

转角和转速为剥壳辊的主要工作参数。由于对虾剥壳机的辊轴是正反交替转动的工作方式,故其

转速是一个逐渐变换的过程,常规的计数方法无法准确得出其转动幅度和转速。为检测辊轴的转角和转速,通过分析增量式编码器的数据采集特点,设计了转角和转速的计算方法。

数据采集器对编码器的脉冲计数模式为编码器正转时计数值增加,反向旋转时计数值减小,编码器不转时计数值保持不变,因此编码器在正反交替转动过程中计数值与时间的关系类似正弦曲线。曲线的波峰处为极大值,即编码器正转最大幅度的位置;曲线的波谷处为极小值,即编码器反转最大幅度的位置;曲线的平直段计数值保持不变,即为编码器的停止状态。因此相邻的极大值与极小值之间的数值差即为辊轴的转角,以单次转动的平均速度作为辊轴转速的量化表示。

辊轴转角和转速的算法流程如图 6 所示。

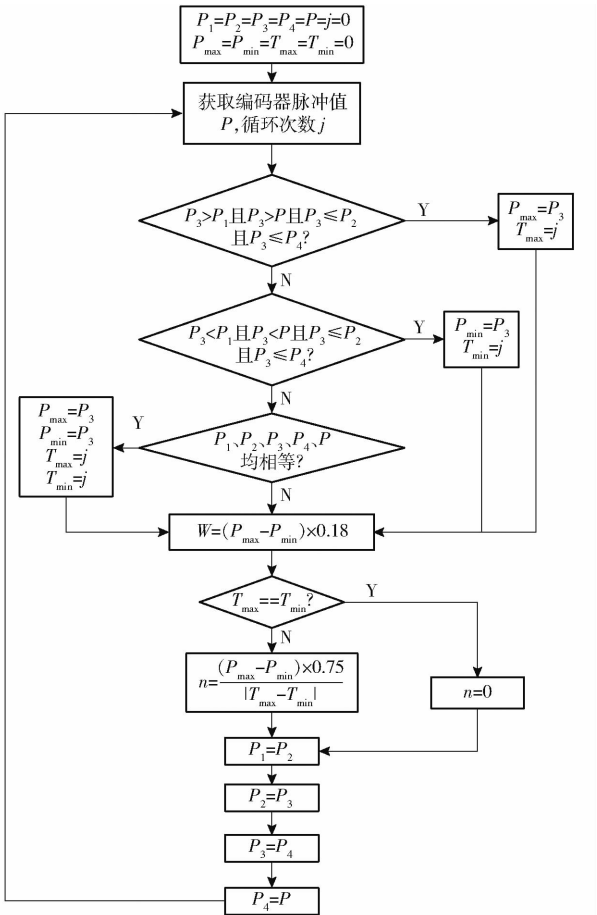


图 6 编码器转速与转角算法流程图
Fig.6 Algorithm flowchart of encoder speed and amplitude

图中 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P 分别为第 1 至第 5 次采样的编码器脉冲值; j 为循环次数; $P_{\max}$ 为脉冲极大值; $P_{\min}$ 为脉冲极小值; $T_{\max}$ 为极大值对应的循环次数; $T_{\min}$ 为极小值对应的循环次数; W 为辊轴转角, (°); n 为辊轴转速, r/min。

上述算法的精准度取决于获取计数值的频率,

即上位机发送数据请求的时间间隔。请求时间间隔越小,获取的计数值变化幅度越小,也就是计数值在坐标轴上的散点分布越密,越能逼近极值点,计算误差越小。

假设在极限情况下,极值点位于相邻两采集脉冲点的中心位置,算法认为两采集点的脉冲值代表极值,此时采集值与实际极值误差最大。如果相邻极大值和极小值的采集均出现该情况,此时检测的辊轴转角达到最大误差。通过该理论分析,得出了编码器幅值检测算法的理论检测误差 $c \leq 0.03t$ (t 为通信请求时间间隔)。剥壳机在实际工作中辊轴转动角一般不低于 60° ,根据参数检测误差不超过 5% 的设计要求,得到辊轴转动角检测误差不超过 3° ,因此通信请求时间间隔 $t \leq 100$ ms。因此上位机通信设置为 100 ms 以内发送一次数据请求可满足检测要求,实际设计为 50 ms。

3.2 挺杆频率检测

挺杆的运动由凸轮驱动,凸轮转动一圈,挺杆上下运动一次。因此通过检测凸轮转轴的转速可间接测量挺杆的运动频率。

霍尔传感器通过检测经过其探头的磁钢个数来计数。在挺杆凸轮转轴的圆周上均匀贴上一定数量的小磁铁,通过获取单位时间内的脉冲个数可实现频率检测。

挺杆浮动频率计算式为

$$f = \frac{P_5}{N_1 t_1} \tag{6}$$

式中 f ——挺杆频率, Hz
 t_1 ——脉冲计数的时间, s
 P_5 ——霍尔传感器产生的脉冲数, 个
 N_1 ——磁铁个数, 个

霍尔传感器脉冲数的采集时间间隔与摄像头采集图像的时间间隔保持一致,设置为 3 s。根据挺杆工作参数范围可知,挺杆的浮动频率不超过 1 Hz,变化量一般以 0.1 Hz 作为最小单位,因此挺杆频率的检测精度不低于 0.1 Hz 即可。当 $f \leq 0.1$ Hz 时,由挺杆浮动频率的计算模型可得 $N_1 \geq 3.3$ 。综合考虑凸轮转轴的直径,设置磁铁个数为 6 个。

3.3 原料提升带转速检测

由于原料提升带的转速较慢,为提高检测精度,采用电感式接近开关与齿轮配合的方法进行检测。在原料提升带转轴末端安装一个一定齿数的齿轮,传感器会感应经过其探头的齿数,产生脉冲。通过获取单位时间内的脉冲数可计算原料提升带转速。

原料提升带转速计算式为

$$n_1 = \frac{60P_6}{N_2t_1} \tag{7}$$

式中 P_6 ——电感式接近开关产生的脉冲数,个
 N_2 ——齿轮齿数,个

电感式接近开关脉冲数的采集时间间隔也设置为 3 s。根据实际经验,原料提升带转速的参数范围为: $0 \leq n_1 \leq 20$ r/min。参数变化量一般以 1 r/min 为最小单位,因此原料提升带转速的检测精度不低于 1 r/min 即可。当 $n_1 \leq 1$ r/min 时,由计算模型可得 $N_2 \geq 20$ 。综合考虑齿轮尺寸和安装尺寸,选择齿数为 20 的齿轮。

3.4 水流速率检测

涡轮流量传感器可将流速转换为涡轮转速,再将转速转换为电脉冲信号,脉冲信号的频率与流经传感器的瞬时流量成正比。因此可采用涡流流量传感器检测喷水装置的水流速率。

根据流量方程可推算水流速率计算式为

$$V_2 = \frac{60P_7}{kt_1} \tag{8}$$

式中 V_2 ——喷水机构的水流速率,L/min
 P_7 ——涡轮流量传感器产生的脉冲数,个
 k ——涡流流量传感器系数,脉冲/L

涡流流量传感器脉冲数的采集时间间隔设置为 3 s。选用的涡轮流量传感器系数为 371.49 脉冲/L,流量测量范围为 0.8 ~ 8 m³/h。因此采用该方法检测水流速率的精度为 0.054 L/min,可以满足检测要求。

4 控制系统设计

4.1 系统组成及工作原理

根据辊轴式对虾剥壳机的工作原理和主要参数特点,设计了对虾剥壳机参数控制系统,系统框架结构如图 7 所示。系统分为图像采集模块、参数检测模块和控制模块 3 部分。

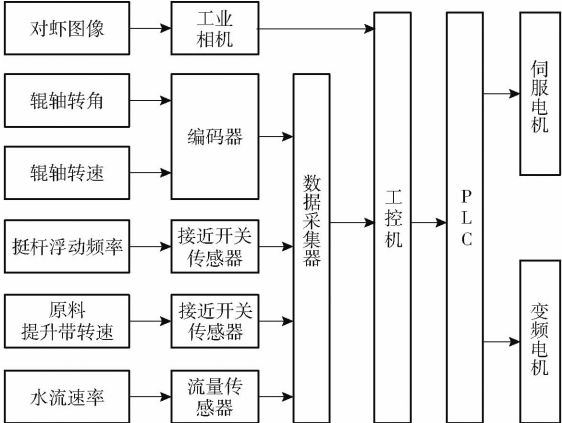


图 7 参数控制系统结构框图

图像采集模块主要由摄像头及其安装装置构成,负责采集对虾上料图像,然后送入工控机处理。

参数检测模块主要由接近开关、编码器、流量传感器和数据采集器组成。采用霍尔式接近开关传感器检测挺杆浮动频率,采用电感式接近开关传感器检测原料提升带转速,采用旋转式编码器检测辊轴转角和转速,采用涡轮式流量传感器检测水流速率。数据采集器对传感器数据进行脉冲计数,并通过 485 总线将计数结果实时发送至工控机。

控制模块主要由工控机、显示屏、PLC、伺服驱动器、伺服电机、变频器和变频电机组成。工控机获取对虾图像和数据采集器的数据,通过图像处理和数据解码得到剥壳机的相应参数,并在显示屏上显示各种参数。工控机根据参数优化调控模型,输出相应的参数目标值至 PLC。PLC 对目标值转化计算,发送控制指令给变频器和伺服驱动器,进而控制相应电机的转动,实现剥壳机作业状态的优化调整。

4.2 硬件安装

根据辊轴式对虾剥壳机结构,系统硬件安装效果如图 8 所示。触摸一体机安装于操作控制箱内,属于上位机。在原料提升带顶部安装摄像头以采集对虾图像。编码器安装在辊轴末段。接近开关分别安装在原料提升机转动轴侧面、凸轮转

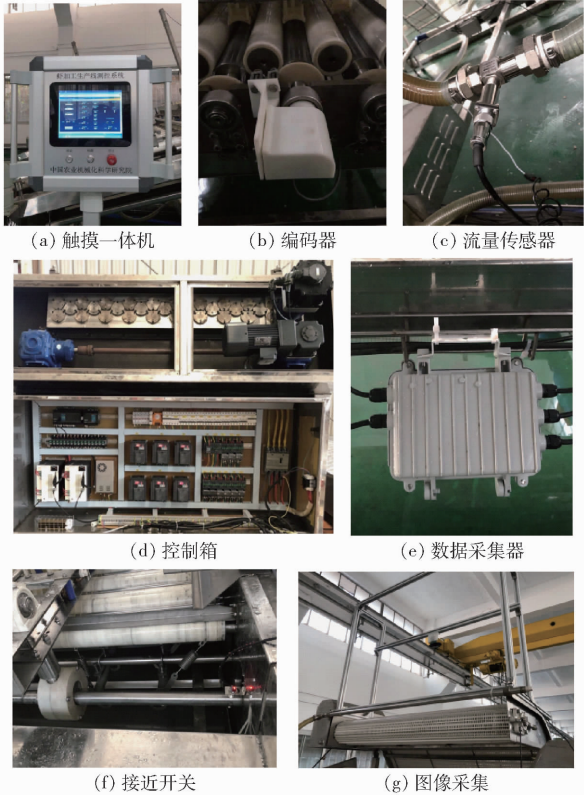


图 8 硬件安装

Fig. 7 Structure diagram of parameter control system

Fig. 8 Hardware installation

动轴侧面。流量传感器分别安装在喷水装置的两条水管上。PLC、变频器、伺服电机驱动器安装在主机控制箱内。变频电机和伺服电机安装在传动箱内。

4.3 触摸一体机软件设计

4.3.1 参数优化模型

根据辊轴式对虾剥壳机的试验分析可知,剥壳率和处理能力是剥壳机的主要指标,对虾规格、喂入速率、辊轴转角、辊轴转速、挺杆浮动频率是影响剥壳率和处理能力的主要因素。对虾的规格不同,需要的剥壳机运行参数也不同。对虾的喂入速率主要由原料提升带转速决定。试验发现,喷水装置的水流速率对剥壳机性能的影响不显著,因此水流速率不作为控制参数。

构建参数优化模型是控制剥壳机运行的前提。分别以大、中、小3种规格的对虾为试验对象,以对虾喂入速率、辊轴转角、辊轴转速、挺杆浮动频率为因素,通过试验获得了剥壳机运行参数的优化模型,结果如图9所示。

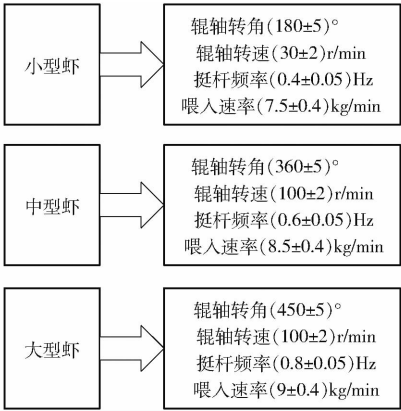


图9 参数优化模型

Fig. 9 Parameter optimization model

4.3.2 程序流程

触摸一体机以参数优化模型作为调控依据。程序设计为自动控制与手动控制两种模式,手动控制模式时,人工输入辊轴转角、辊轴转速、挺杆频率和原料提升带转速的参数值,然后将参数发送至PLC,由PLC调节相应的驱动电机参数。自动模式时,系统判断对虾的规格,调用参数优化模型,与实时运行参数比对,判断各参数是否处于最优状态。若设备参数处于正常范围内,则不向PLC发送指令;若设备参数存在偏差,则计算需要调节的参数值,然后发送给PLC,实现剥壳机参数自动控制。触摸一体机主程序流程设计如图10所示。

4.3.3 软件开发

触摸一体机软件采用美国国家仪器公司开发的LabVIEW平台作为开发环境,开发的辊轴式剥壳机

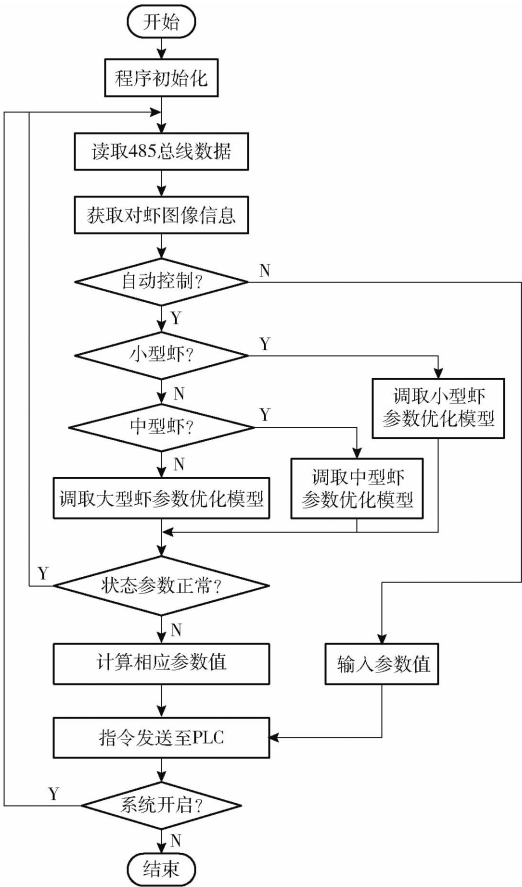


图10 触摸一体机主程序流程图

Fig. 10 Main program flowchart of industrial computer

参数控制系统软件界面如图11所示,软件具有系统设置和参数控制两个界面。系统设置界面可进行串口通信设置、摄像头接口设置、设备启停控制、图像与参数保存等操作,参数检测与控制界面具有设备参数显示、对虾图像信息显示、控制模式切换和参数输入的功能,实现了辊轴式剥壳机主要参数的检测与调控。



图11 软件界面

Fig. 11 Software interface

5 系统准确性试验

为了测试辊轴式对虾剥壳机参数检测与调控系统的性能,在广东省现代农业装备研究所农产品加工实验室进行了试验。试验于 2020 年 12 月 28 日开展,分别进行了物料信息检测准确性试验、辊轴运动参数检测与控制试验、挺杆频率检测与控制试验、原料提升带转速检测与控制试验以及水流速率检测试验。

5.1 物料信息检测

剥壳机的物料信息主要包括对虾规格和对虾喂入速率。测试系统检测物料信息误差的试验方法如下:

(1)准备小型、中型、大型 3 种规格的对虾各一批。对每种规格的对虾进行随机取样,称量对虾质量,计算每种规格对虾的平均质量。

(2)将对虾分批倒入喂料槽中,分别进行 3 种规格对虾的物料输送试验。启动系统,打开数据保存按钮和图像保存按钮。用转速仪测量每次试验中原料提升带转速。系统检测的对虾规格和喂料速率自动保存在相应文件中。

(3)在每种规格的对虾试验结果中随机选取 3 个时间点,调出每个时间点对应的对虾图像和数据,统计对虾图像中的实际对虾个数,用式(4)计算对虾的实际喂入速率,将对虾规格、喂入速率的实际值和检测值记录在试验表中,计算喂入速率的检测误差。

根据物料信息检测的试验方法,得到试验结果如表 1 所示。试验表明,对虾规格的检测误差为 0,对虾喂入速率的检测平均误差为 3.46%。系统可以准确识别对虾的规格,对喂入速率的检测结果可靠。

表 1 物料信息检测试验结果

Tab.1 Test results of material information detection							
虾实际规格	检测结果	检测误差/%	平均误差/%	实际喂入速率/(kg·min ⁻¹)	喂入速率检测值/(kg·min ⁻¹)	喂入速率检测误差/%	喂入速率检测平均误差/%
小	小	0		5.67	5.40	4.76	
小	小	0		6.80	6.49	4.56	
小	小	0		7.10	7.28	2.54	
中	中	0		8.32	7.99	3.97	
中	中	0	0	8.57	8.27	3.50	3.46
中	中	0		7.42	7.66	3.23	
大	大	0		9.45	9.29	1.69	
大	大	0		8.47	8.10	4.37	
大	大	0		8.77	8.55	2.50	

5.2 辊轴运动参数检测与控制

辊轴运动参数检测与控制主要是针对辊轴转角和转速。由于辊轴正反交替转动的运动特性,无法直接测量出实际运动参数,因此采用摄像机通过连续摄像的方法进行参数测量,图像采集如图 12 所示。



图 12 辊轴运动图像采集

Fig.12 Image acquisition of roller motion

根据系统检测结果和实际测量结果,计算辊轴运动参数的检测误差。根据系统手动设置参数和实际测量结果,可计算辊轴运动参数的控制误差为

$$E = \frac{|E_1 - E_2|}{E_2} \times 100\%$$
 (9)

式中 E——系统控制误差
E₁——手动输入值 E₂——实际值

通过图像测量与计算得到试验结果如表 2、3 所示。试验表明,辊轴转角的平均检测误差为 0.51%,平均控制误差为 0.53%;辊轴转速的平均检测误差为 1.73%,平均控制误差为 1.04%。

表 2 辊轴转角检测与控制试验结果

Tab.2 Test results of roll shaft rotation amplitude detection and control

输入值/(°)	实际值/(°)	检测值/(°)	检测误差/%	平均检测误差/%	控制误差/%	平均控制误差/%
120	119	118.1	0.76		0.84	
160	160	160.2	0.13		0	
240	241	242.8	0.75	0.51	0.41	0.53
300	302	303.5	0.50		0.67	
420	423	424.8	0.43		0.71	

5.3 挺杆频率检测与控制

挺杆凸轮转轴的转速决定挺杆的频率,采用转速仪测量转轴的实际转速,测量方法如图 13 所示,通过换算可得到挺杆频率的实际值。手动输入 5 次不同的挺杆频率数值,进行 5 次试验,将换算得到的实际值、系统检测值和手动输入值记录于试验表中。

挺杆频率的检测与控制试验结果如表 4 所示。

表 3 辊轴转速检测与控制试验结果

Tab.3 Test results of roll shaft speed detection and control

输入值/ ($r \cdot \min^{-1}$)	实际值/ ($r \cdot \min^{-1}$)	检测值/ ($r \cdot \min^{-1}$)	检测 误差/ %	平均检 测误 差/%	控制 误差/ %	平均控 制误 差/%
15	14.7	14.5	1.36		2.04	
25	25.4	24.8	2.36		1.57	
35	34.9	35.0	0.29	1.73	0.29	1.04
50	50.3	49.1	2.39		0.60	
70	70.5	68.9	2.27		0.71	



图 13 挺杆频率测量

Fig.13 Measurement of tappet frequency

表 4 挺杆频率检测试验结果

Tab.4 Test results of tappet frequency detection

输入值/ Hz	实际值/ Hz	检测值/ Hz	检测误 差/%	平均检测 误差/%	控制误 差/%	平均控制 误差/%
0.3	0.29	0.28	3.45		3.45	
0.4	0.39	0.39	0		2.56	
0.5	0.49	0.50	2.04	1.93	2.04	2.15
0.7	0.69	0.67	2.90		1.45	
0.8	0.79	0.78	1.27		1.27	

试验表明,挺杆频率的平均检测误差为 1.93%,平均控制误差为 2.15%。

5.4 原料提升带转速检测与控制

原料提升带转速的测量采用转速仪。在系统的检测与控制界面输入原料提升带的转速值,进行 5 次不同转速的检测与控制试验。将手动输入值、测量的实际值和系统检测值记录于试验表中。原料提升带转速的检测与控制试验结果如表 5 所示。试验表明,原料提升带转速的平均检测误差为 3.34%,平均控制误差为 3.34%。

5.5 水流速率检测

喷水装置的水流实际速率采用称重法测量。打开流量传感器一端的水管接口,启动喷水装置和检测与控制系统,打开秒表并清零。记录参数检测界面上水流速率的数值,然后将塑料桶放置在流量传感器一端的出水口下开始接水,此时按下秒表开始

表 5 原料提升带转速试验结果

Tab.5 Speed test results of raw material lifting belt

输入值/ ($r \cdot \min^{-1}$)	实际值/ ($r \cdot \min^{-1}$)	检测值/ ($r \cdot \min^{-1}$)	检测 误差/ %	平均检 测误 差/%	控制 误差/ %	平均 控制误 差/%
3	2.9	3	3.45		3.45	
5	4.8	5	4.17		4.17	
6	5.8	6	3.45	3.34	3.45	3.34
8	7.8	8	2.56		2.56	
10	9.7	10	3.09		3.09	

计时,当桶内水达到桶容积时取出水桶并按下秒表结束计时,分别称量空桶质量和装有水的桶质量,按式(8)计算水流实际速率。改变 5 次水流速率,将实际测量结果和系统检测值记录于试验表中。

水流速率的检测试验结果如表 6 所示。试验表明,水流速率的平均检测误差为 0.92%,系统检测结果可靠。

表 6 水流速率检测试验结果

Tab.6 Test results of water flow rate

实际值/ ($L \cdot \min^{-1}$)	检测值/ ($L \cdot \min^{-1}$)	误差/%	平均误差/%
25.09	24.89	0.79	
19.35	19.25	0.52	
35.26	34.78	1.30	0.92
31.94	31.56	1.20	
27.86	27.64	0.78	

6 结论

(1)设计了辊轴式对虾剥壳机参数控制系统。该系统主要由图像采集模块、参数检测模块和控制模块 3 部分组成,能够实现物料信息和剥壳机参数的实时检测,可以根据对虾规格和喂入速率的变化自动调控剥壳机工作参数,解决了辊轴式对虾剥壳机自动化程度低、物料适应性差的问题。

(2)采用卷积神经网络 YOLO v3 模型进行对虾数量的识别,使对虾平均识别准确率达到 96.9%。建立了根据去头对虾像素数量预测去头前对虾质量的二次线性方程,结合对虾规格划分范围,提出了对虾规格和对虾喂入速率的检测模型。

(3)提出了辊轴转角和转速的检测算法,设计了挺杆频率、原料提升带转速和水流速率的检测方法。完成了辊轴式对虾剥壳机参数检测与调控系统的硬件搭建和软件开发。

(4)通过试验测试了系统的数据检测准确度和参数控制的可靠性。试验结果表明,对虾规格的检测误差为 0,对虾喂入速率的平均检测误差为 3.46%;辊轴转角的平均检测误差为 0.51%,平均

控制误差为 0.53% ; 辊轴转速的平均检测误差为 1.73% , 平均控制误差为 1.04% ; 挺杆频率的平均检测误差为 1.93% , 平均控制误差为 2.15% ; 原料提升带转速的平均检测误差为 3.34% , 平均控制误差为 3.34% ; 水流速率的平均检测误差为 0.92% 。

参 考 文 献

[1] 弋景刚, 马骏原, 王泽河, 等. 对虾加工装备现状与发展[J]. 现代农业装备, 2020, 41(1): 2-11.
YI Jinggang, MA Junyuan, WANG Zehe, et al. Status and development of shrimp processing equipment[J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(1): 2-11. (in Chinese)

[2] 张秀花, 王利光, 弋景刚, 等. 带式夹持输送对虾开背机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 284-291.
ZHANG Xiuhua, WANG Liguang, YI Jinggang, et al. Design and experiment of shrimp backside cutting machine formed by belt clamping and conveying[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 284-291. (in Chinese)

[3] 李影欣, 崔保健, 弋景刚, 等. 双辊式对虾分级设备的试验与研究[J]. 食品与机械, 2014(3): 94-97.
LI Yingxin, CUI Baojian, YI Jinggang, et al. Test and research on double roller shrimp grading device[J]. Food and Machinery, 2014(3): 94-97. (in Chinese)

[4] 李铎, 张秀花, 王伟, 等. 对辊挤压式对虾去头装置研究[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(1): 97-101.
LI Duo, ZHANG Xiuhua, WANG Wei, et al. Experimental study on the dual-roller squeeze device for shrimp head cutting[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2017, 40(1): 97-101. (in Chinese)

[5] 熊师, 赵博, 胡小鹿, 等. 对虾逐只分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 357-365.
XIONG Shi, ZHAO Bo, HU Xiaolu, et al. Design and experiment on prawn single separation device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 357-365. (in Chinese)

[6] 熊师, 方宪法, 牛康, 等. 对虾定向输送装置设计与参数优化试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(5): 324-331.
XIONG Shi, FANG Xianfa, NIU Kang, et al. Design and parameter optimization of directional conveying device for shrimp[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(5): 324-331. (in Chinese)

[7] BULLOCK K. Shrimp cleaning machine: US3816877A[P]. 1974-06-18.

[8] LAITRAM Machinery. Automatic shrimp peeling and deveining systems[EB/OL]. [2021-05-10]. <https://www.laitrammachinery.com/shrimppeeling>.

[9] 张秀花, 赵庆龙, 王泽河, 等. 可调五辊式对虾剥壳机剥壳参数优化试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(15): 247-254.
ZHANG Xiuhua, ZHAO Qinglong, WANG Zehe, et al. Parameter optimization experiment of adjustable five rollers shrimp peeling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(15): 247-254. (in Chinese)

[10] 张秀花, 赵庆龙, 赵玉达, 等. 对虾对辊挤压式剥壳工艺参数及预处理条件优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 308-314.
ZHANG Xiuhua, ZHAO Qinglong, ZHAO Yuda, et al. Parameter and pretreatment condition optimization of dual rollers extrusion peeling device for *Litopenaeus vannamei*[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 308-314. (in Chinese)

[11] 吴刚, 吴云帆, 陈度, 等. 基于机器视觉的玉米果穗性状参数测量方法研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊2): 357-365.
WU Gang, WU Yunfan, CHEN Du, et al. Measurement method of maize ear characters based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 2): 357-365. (in Chinese)

[12] 谢为俊, 魏硕, 王凤贺, 等. 基于机器视觉的胡萝卜表面缺陷识别方法研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊1): 450-456.
XIE Weijun, WEI Shuo, WANG Fenghe, et al. Machine vision based detection method of carrot external defects[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 1): 450-456. (in Chinese)

[13] 吕少中, 杜文亮, 陈震, 等. 基于机器视觉的荞麦剥壳性能参数在线检测方法[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10): 35-43.
LÜ Shaozhong, DU Wenliang, CHEN Zhen, et al. On-line measuring method of buckwheat hulling efficiency parameters based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10): 35-43. (in Chinese)

[14] 王侨, 陈兵旗, 朱德利, 等. 基于机器视觉的定向播种用玉米种粒精选装置研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(2): 27-37.
WANG Qiao, CHEN Bingqi, ZHU Deli, et al. Machine vision-based selection machine of corn seed used for directional seeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(2): 27-37. (in Chinese)

[15] LUO Yan, ZHANG Anhong, CHENG Fang. Distilling the main skeleton line of shrimp based on machine vision technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013(8): 68-73.

[16] POONNOY P, CHUM-IN T. Estimation of sushi shrimp weight using image analysis technique and non-linear regression models[C]//International Conference of Agricultural Engineering, Valencia, 2012.

[17] 刘子豪. 基于机器视觉技术的南美白对虾分类算法研究与在线实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
LIU Zihao. Research and online implementation of *Penaeus vannamei* grading algorithm based on machine vision technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017. (in Chinese)

[18] OSTERLOFF J, NILSSEN I, NATTKEMPER T W. A computer vision approach for monitoring the spatial and temporal shrimp distribution at the LoVe observatory[J]. Methods in Oceanography, 2016, 15-16: 114-128.

[19] HOSSEINPOUR S, RAFIEE S, MOHTASEBI S S, et al. Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(1): 99-114.

[20] 张伟. 基于机器视觉技术的缺损对虾在线识别与剔除系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
ZHANG Wei. Study of online identification and elimination system of incomplete shrimp based on machine vision technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018. (in Chinese)