

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90154

鲶鱼自适应去头加工机设计与实现

Design and implementation of self-adaptive head cutting machine for catfish

李晨阳¹ 单慧勇¹ 张程皓¹ 田云臣² 卫勇¹LI Chen-yang¹ SHAN Hui-yong¹ ZHANG Cheng-hao¹ TIAN Yun-chen² WEI Yong¹

(1. 天津农学院工程技术学院, 天津 300384; 2. 天津农学院计算机与信息工程学院, 天津 300384)

(1. College of Engineering and Technology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China;

2. College of Computer and Information Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

摘要:目的:提升鲶鱼前加工去头机械化与自动化水平。

方法:通过对鲶鱼形体参数及摩擦特性进行研究,获取鱼体相关参数。基于机器视觉技术对流水线鱼体进行识别,将鱼头盖骨末端定义为鱼头切割轨迹线,设计自适应调整装置对鱼体位置进行调整,使用圆盘切割刀进行去头作业,并设计人机交互界面。**结果:**图像采集系统切割轨迹线判别成功率达到 90%,自适应调整系统的平均误差为 0.21 cm。**结论:**该系统可靠,按预设加工效率计算每小时可加工鲶鱼约 600 条。

关键词: 鲶鱼; 自适应; 去头加工; 机器视觉; 可编程控制器

Abstract: Objective: In order to improve the mechanization and automation level of catfish head cutting. **Methods:** Through the study on the shape parameters and friction characteristics of catfish, the related parameters of catfish were obtained. Based on the machine vision technology to identify the assembly line fish, the end of the fish skull was defined as the fish head cutting track line, and an adaptive adjustment device was designed to adjust the position of the fish body, so that the disc cutter can avoid the skull for head removal. The GUI was designed in order to achieve visual control. **Results:** The system test results showed that the success rate of cutting track line discrimination of the image acquisition system reached 90%, with the average error of the adaptive adjustment system of 0.21 cm, which confirmed the reliability of the system. **Conclusion:** According to the preset process-

ing efficiency, about 600 catfish can be processed per hour.

Keywords: catfish; adaptive; headless machining; machine vision; PLC

中国淡水资源丰富,是淡水渔业最为发达的国家。传统大宗淡水鱼前处理加工主要包括致昏、分级与定向、“三去”(去鳞、去头尾、去内脏)、切片等环节,其加工质量直接影响淡水鱼后续加工和产品品质^[1]。Hansen 等^[2-3]采用机器视觉技术依据鱼体的几何参数将鱼体布置在目标位置,用计算机控制机械手进行去头尾加工,但国外鱼类加工大多为海水鱼,其设备不适应于淡水鱼加工。中国的鱼类去头加工设备已基本实现机械化,但自动化程度较低。陈庆余等^[4]搭建了机械去头加工试验平台,运用圆盘刀进行鱼头切割,极大地提高了生产效率。张帆^[5]研制了利用气动机构去头的试验平台,其采用仿形设计刀具,减小了切割鱼头所需动力。邹伟^[6]提出了一种连续式去头尾装置。上述方案实现了机械化去头步骤,但对头部切割位置无法进行自动化控制。李楷模等^[7]提出了一种视觉引导淡水鱼自动去头尾系统方案,通过计算机视觉技术实现对淡水鱼头、尾的准确定位,并应用 PLC 实现准确对刀及自动完成去鱼头尾作业,但其加工效率较低,不能实现流水线上连续的机械化加工。

目前,在结合先进计算机应用理论与技术的基础上,与淡水鱼前处理加工工序相关的鱼类识别与分级、鱼体定向等技术均获得了进一步发展^[8-9]。研究拟以鲶鱼为研究对象,设计一种自适应去头加工机。基于机器视觉技术对流水线鱼体进行识别,将鱼头盖骨末端定义为鱼头切割轨迹线,设计自适应调整装置对鱼体位置进行调整,使用圆盘切割刀进行去头作业,同时为实现可视化控制,设计人机交互界面,为构建中国淡水鱼前加工处理流水线提供依据。

基金项目:国家重点研发计划(编号:2020YFD0900600);财政部和农业农村部:现代农业产业技术体系资助(编号:CARS-47);天津市海水养殖产业技术体系(编号:ITT-MRS2021000)

作者简介:李晨阳,男,天津农学院在读硕士研究生。

通信作者:单慧勇(1977—),男,天津农学院副教授,硕士。

E-mail: tjshyyr@sina.com

收稿日期:2021-11-24 **改回日期:**2022-04-30

1 鲢鱼形体参数及摩擦特性试验

1.1 试验装置与测量方法

鲢鱼体表无鳞,多黏液,头扁口阔,身体柔软,其体型特征见图 1。为确定加工机零部件参数,选用 30 条同一批次(1.5±0.3) kg 的新鲜鲢鱼作为试验样本,将鲢鱼击晕,并对其形体特征的多个参数进行测量。

测量时将鱼体平放,人工辅助将鱼头尾拉直进行测量,为减少误差,每条鱼各参数进行 3 次测量取平均值,具体测量指标为鱼体全长 L_1 、头长 L_2 、尾长 L_3 、体高 L_4 、体宽 L_5 、体重 M ,体长 L_6 与腹长 L_7 由式(1)、式(2)计算得出。

$$L_6 = L_1 - L_3, \tag{1}$$

$$L_7 = L_6 - L_2. \tag{2}$$

鲢鱼摩擦系数测量装置主要由计算机、拉力传感器、细绳、输送带等组成^[10],主体结构如图 2 所示。

测量装置传送系统由伺服电机驱动,输送带为光滑皮带,拉力传感器固定在输送带输送前侧与输送带水平高度一致的工作台面上。拉力传感器选取 QLTSK 型称重传感器(量程 0~5 kg);拉力传感器数字信号转换装置采用 QL-AJ90 型高速转换模块,采样速率为 50 次/s,通讯方式为 RS-485 通讯,通过计算机读取拉力数据。推杆电机固定在输送带左侧与输送带水平高度一致的工作台面上,推板固定于推杆电机前端。

为测定鱼体在不同输送带表面的摩擦特性,选取食品加工业中常用的 3 种不同表面的输送带:草坪纹皮带、

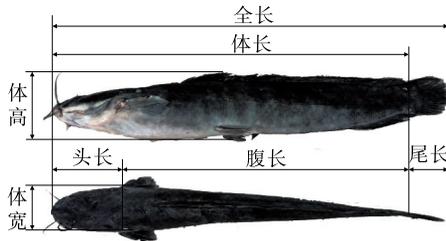
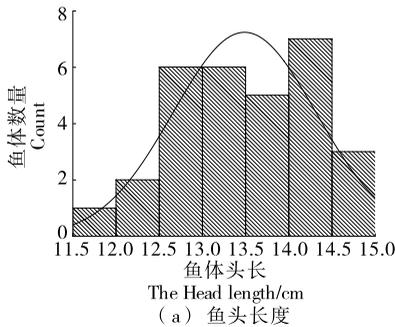
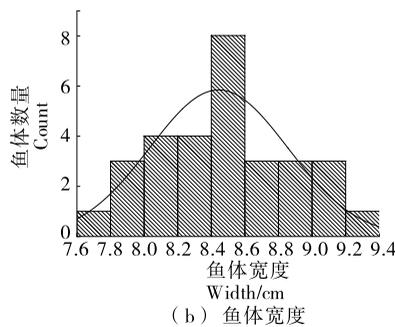


图 1 鲢鱼体型特征示意图

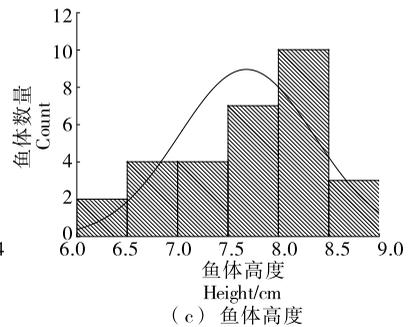
Figure 1 Schematic diagram of catfish body characteristics



(a) 鱼头长度



(b) 鱼体宽度



(c) 鱼体高度

图 4 鱼体参数正态分布图

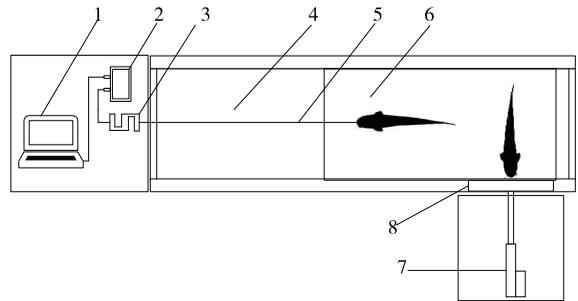
Figure 4 Normal distribution of fish body parameters

光滑皮带与不锈钢链板(见图 3)。

在进行摩擦系数测定时,由于输送带本身为光滑皮带,故在试验前,将草坪纹皮带与不锈钢链板分别固定于传送带上,将鱼体击晕后称重,同时保持鱼体表面湿滑放置于试验输送带表面,将细绳一端从鱼嘴中穿过,另一端与拉力传感器相连。测量时,输送带以 10 cm/s 匀速运转,记录拉力传感器数值,计算鱼体在不同输送带表面摩擦力,每条鱼进行 3 次试验取平均值。摩擦力测量后进行鱼体推动扭曲试验,控制推杆电机推动速度保持一致,利用推杆电机推动头尾线垂直于输送带输送方向的鱼体,观察鱼体是否发生弯曲形变。

1.2 试验结果

对 30 条鲢鱼进行参数统计,鱼体平均重量为 1.48 kg,而且鱼体头长、体宽、体高呈正态分布(图 4),鱼头长度的主要分布区间为 12.5~14.5 cm,鱼体宽度的主要分布区间为 7.8~9.2 cm,鱼体高度的主要分布区间为



- 1. 计算机 2. 数字信号转换器 3. 拉力传感器 4. 输送带
- 5. 细绳 6. 输送带 7. 推杆电机 8. 推板

图 2 鱼体摩擦系数测量装置

Figure 2 Fish body friction coefficient measuring device



(a) 草坪纹皮带 (b) 光滑皮带 (c) 不锈钢链板

图 3 输送带表面结构

Figure 3 Conveyor belt surface structure

7.5~8.5 cm,故在装置零部件的具体参数设计中,需要综合考虑上述形体参数极值范围。同时通过试验研究发现,不同体长、体重的鲟鱼鱼体头盖骨曲线差异较小,在去头机加工自适应定位过程中,可以依据头盖骨曲线进行头部切割线定位。

由表 1 可知,鱼体在不锈钢链板上摩擦系数最小,故利用不锈钢链板作为输送带有利于自适应调整,但鱼体与输送带间较小的摩擦力又会使使得切割夹持输送过程中鱼体出现偏移现象,后续进行样机试验时综合考虑两者的不同需求,从而选取最佳的输送带方案。

表 1 鱼体在不同输送带表面试验结果

Table 1 Experimental results of fish on different conveyor belt surfaces

输送带表面结构	摩擦系数	推动扭曲现象
草坪纹皮带	0.275±0.015	鱼体腹部发生严重扭曲
光滑皮带	0.163±0.011	鱼体尾部发生部分扭曲
不锈钢链板	0.119±0.042	鱼体未发生扭曲现象

2 基于机器视觉的鱼头切割线定位

图像采集系统(见图 5)主要由图像采集箱、相机、环形灯及计算机等组成。为了准确获得鱼体完整特性、降低相机拍摄不准确使得采集图片产生畸变,以相机成像对鱼体图像位置和几何位置进行标定^[1],得到较好的鱼体采集图像。利用 Matlab 2018b 软件进行鱼体图像处理,鱼头切割线定位处理流程如图 6 所示。

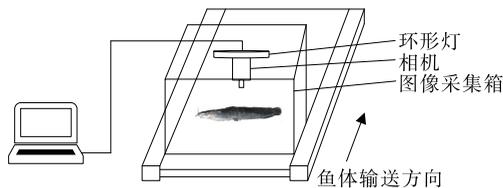


图 5 图像采集系统结构图

Figure 5 Structure diagram of image acquisition system

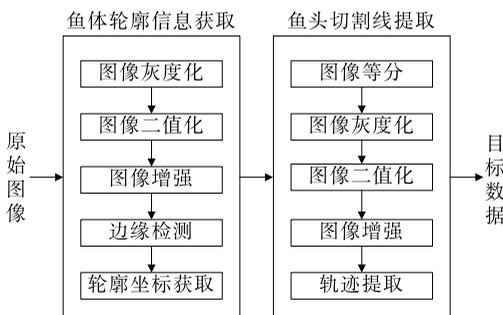


图 6 鱼头切割线定位处理流程

Figure 6 Fish head cutting line positioning processing flow

2.1 鱼体轮廓信息提取

将彩色图像转换为灰度图像的过程称为灰度化处理。一般灰度化处理的方法有最大值法、平均值法和加权平均值法等。Matlab 中利用 rgb2gray 函数可实现采用加权平均值法的灰度化处理,其中原始图像如图 7(a)所示,转换为灰度图后如图 7(b)所示。

使用大津法(OTSU)获得灰度图像最佳分割阈值^[12-13],Matlab 中利用 graythresh 函数实现图像的二值化处理。假设图像中鱼体区域(目标)由目标 A 表示,其他区域(背景)由目标 B 表示,图像灰度范围为 $[0, K]$,以 T 为目标与背景的分割阈值,则某个像素点隶属于 A 的概率为 $P(A)$,隶属于 B 的概率为 $P(B)$,则有:

$$P(A) = \sum_{i=T+1}^K P_i, \quad (3)$$

$$P(B) = \sum_{i=0}^T P_i. \quad (4)$$

A、B 中所有像素点的平均强度分别为 $S(A)$ 、 $S(B)$,则有:

$$S(A) = \frac{1}{P(A)} \sum_{i=T+1}^K i \cdot P_i, \quad (5)$$

$$S(B) = \frac{1}{P(B)} \sum_{i=0}^T i \cdot P_i. \quad (6)$$

则整个图像的像素点的平均强度 S 为:

$$S = S(A)P(A) + S(B)P(B). \quad (7)$$

定义类间方差为:

$$S^2 = P(A) [S(A) - S]^2 + P(B) [S(B) - S]^2. \quad (8)$$

采用遍历的方法得到使类间方差最大的阈值 T ,获得二值图像如图 7(c)所示。由于二值图像中鱼体边缘有较多杂质点,同时鲟鱼头部孔隙点较多,根据图像特征进行阈值寻优,选定构建半径为 11 像素值的平面圆盘形的结构元素对其执行形态学开运算处理,保证鲟鱼基本轮廓特征不变的前提下实现去噪及杂质点填充,处理效果如图 7(d)所示。

图像孔隙填充完成后,使用 Canny 边缘检测算法进行鱼体边缘轮廓的提取^[14]。对于某个位置 (m, n) 的像素点,灰度值为 $f(m, n)$,则经高斯滤波后灰度值为:

$$g_\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{m^2+n^2}{2\sigma^2} \cdot f(m,n)}, \quad (9)$$

式中:

g_σ ——经高斯滤波后的图像灰度值;

σ ——标准差。

在图像中,灰度值变化较大像素点的集合即为边缘,用梯度的幅值和方向表示灰度值的变化程度和方向:

$$G(m, n) = \sqrt{g_x(m, n)^2 + g_y(m, n)^2}, \quad (10)$$

$$\alpha = \arctan \frac{g_x(m, n)}{g_y(m, n)}, \quad (11)$$

式中:

$G(m, n)$ —— 图像边缘梯度幅值;

α —— 图像边缘梯度方向;

$g_x(m, n)$ —— x 方向梯度幅值;

$g_y(m, n)$ —— y 方向梯度幅值。

采用非极大值抑制法对边缘点进行检测,对每个像素点沿其梯度方向比较其前后的梯度值,若该像素点属于边缘,其在梯度方向上的梯度值是最大的,否则不是边缘,将其灰度值设为 0。

$$M_T(m, n) = \begin{cases} M(m, n) & \text{if } M(m, n) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

利用双阈值算法检测和连接边缘,双阈值分别为 Max Val 和 Min Val。其中大于 Max Val 的被定义为边缘,小于 Min Val 的被定义为非边缘。对于中间的像素点,如果与确定为边缘的像素点邻接,则判定为边缘,否则为非边缘^[15]。

经 Canny 边缘检测算法提取后鱼体轮廓图如图 7(e) 所示。通过边界点追踪定位鱼体,将背景多余部分裁剪剔除,鱼体定位效果如图 7(f) 所示。对边缘轮廓进行提取后,利用扫描法获取轮廓坐标。

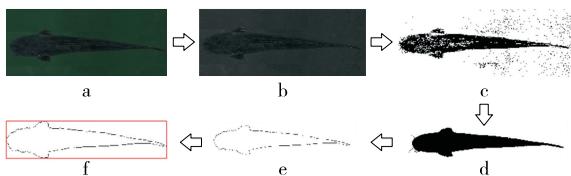


图 7 鱼体轮廓信息提取图

Figure 7 Fish contour information extraction map

2.2 鱼头切割线提取

经试验统计分析,鱼头约占鱼体全长的 1/4,将获得的鱼体图像进行四等分,获得鱼头图像[图 8(a)];由于彩色图像信息量大,将彩色图像转换为灰度图像[图 8(b)];根据 Otsu 确定分割阈值,将鱼头图像进行二值化处理[图 8(c)];然后对图像进行腐蚀操作,将鱼头中孔隙填充,保留鱼头骨轨迹这一感兴趣区域,填充效果如图 8(d) 所示。

对于二值图像,采用边界抑制方法,删除与图像边界相连的对象,效果如图 8(e) 所示。采用种子填充法(Seed-Filling)对边界中连通域进行标记分析,连通域一般是指图像中具有相同像素值且位置相邻的目标像素点组成的图像区域,Seed-Filling 从一个感兴趣的标记点开始向领域进行搜索,发现有相等的像素值则标记为相同的 Label,然后继续搜索,直至周围都没有相同的像素值后再找到一个连通区域,然后继续搜索下一个连通区域,对连通域进行标记效果如图 8(f) 所示。

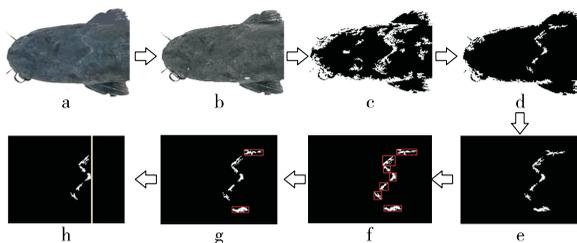


图 8 鱼头切割线提取图

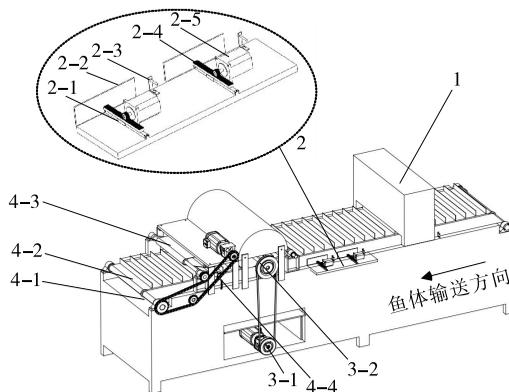
Figure 8 Fish head cutting line extraction diagram

由于图像中鱼鳍边界均与水平线平行,根据连通域像素特性确定其方向,检索确定鱼鳍位置 ID,如图 8(g) 所示。对其填充后获得头骨轨迹线[图 8(h)],鱼头切割轨迹线为头骨轨迹线最外侧,从而确定鱼头切割位置。

3 自适应去头机设计

3.1 整体结构与工作原理

自适应去头机由自适应调整系统、夹持输送系统及切割系统 3 部分组成,其结构示意图如图 9 所示。



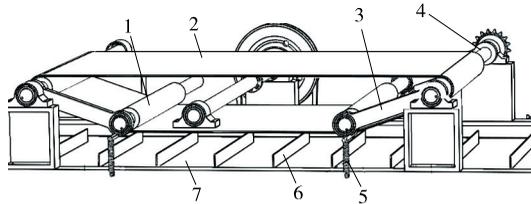
1. 图像采集装置 2-1. 滑轨 2-2. 推板 2-3. 光电开关 2-4. 齿轮齿条 2-5. 步进电机 3-1. 切割电机 3-2. 切割刀盘 4-1. 输送带 A 4-2. 输送带 B 4-3. 夹持输送带 4-4. 拉伸弹簧

图 9 自适应去头机结构示意图

Figure 9 Mechanical structure diagram of adaptive head removal machine

夹持输送系统包括输送装置与夹持装置(图 10)。输送装置为两条平行输送带,鱼体前进方向的右侧皮带用于输送鱼体,皮带表面阵列有挡片,可限制鱼体左右自由度,左侧皮带用于输送鱼头,表面无挡片;夹持装置包括夹持输送带、传动轴及夹持弹簧等,位于右侧输送带上方,由夹持弹簧张紧,切割过程中固定鱼体,保证鱼体的切割稳定性。

切割系统主要由矩形缺口圆盘刀、刀盘轴、传动部件及驱动电机组成。由于鲑鱼鱼骨较硬,去头加工时需切断鱼骨,因此选择矩形缺口圆盘刀,其材料为不锈钢 1Cr17Mn6Ni5N,具有硬度高、耐磨、耐腐蚀等优良性能。



1. 夹持输送带轴 2. 夹持输送带 3. 张紧连接器 4. 传动轴
5. 夹持弹簧 6. 挡片 7. 鱼体输送带

图 10 夹持输送装置示意图

Figure 10 Schematic diagram of clamping conveyor

由于同一批次处理的鲟鱼最大体高 8.69 cm, 最大体宽 9.24 cm。因此, 刀具直径选为 30 cm, 除去安装直径 5 cm, 可用切割半径为 12.5 cm, 厚度为 0.1 cm, 齿高 0.3 cm, 满足鱼体切割需求。切割刀片位于左右两侧输送带之间, 通过刀轴安装在机架上, 在鱼体输送过程中进行鱼头切割, 鱼体及鱼头通过两侧输送带向前输送, 进入不同的流水线。

鱼体自适应调整系统由图像采集装置、自适应调整装置以及上位机 3 部分组成。光电传感器连接 PLC 的输入端, 系统由 PLC 接收光电传感器信号, 确定鱼体位置, 然后控制相机采集鱼体图像。自适应调整装置由 PLC 作为核心控制器件, 另外还包括输送机构和执行机构。经输送机构, 鱼体到达对应的调整位置, 光电传感器检测到鱼体, 由 PLC 控制步进电机执行动作, 将鱼体推送到相应位置。自适应去头机系统结构如图 11 所示。

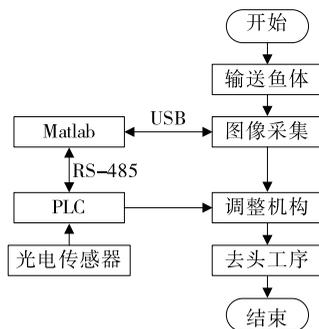


图 11 自适应去头机系统结构图

Figure 11 System structure diagram of adaptive headliner

3.2 自适应调整系统设计

自适应调整装置由光电传感器和执行机构组成, 其中执行机构包括步进电机、齿轮齿条及推板等。考虑设备的稳定性, 推板选用厚度为 5 mm, 长度为 0.3 m 的 304 不锈钢板; 步进电机选用转矩为 1.8 N·m, 固有步进角为 1.8° 的 57 步进电机, 步进电机驱动器选择 DM542 型驱动器, 共 15 个细分精度, 8 档电流调节, 在调整过程中为保证较小的误差, 设定细分为 128; 齿轮齿条选择表面淬火处理后的 45 碳钢, 取齿数 $z_1=36$, 模数 $m=0.5$ mm, 齿宽

$b=5$ mm, 对其进行齿面接触强度及齿轮弯曲强度验算, 该齿轮选型符合安全条件。

以 Matlab R2018b 作为上位机系统, 采用 Modbus RTU 通讯协议, 通过 RS485 问答方式与 PLC 进行通讯, Matlab 软件对采集的图像进行分析处理后得到调整数据下发至 PLC, PLC 控制自适应调整装置实现所需的调整动作。PLC 作为自动调整装置的控制核心, 选用信捷 XC2-32T-E 型 PLC, 具有 485 通讯及两路独立高速脉冲输出。系统主程序流程图见图 12。

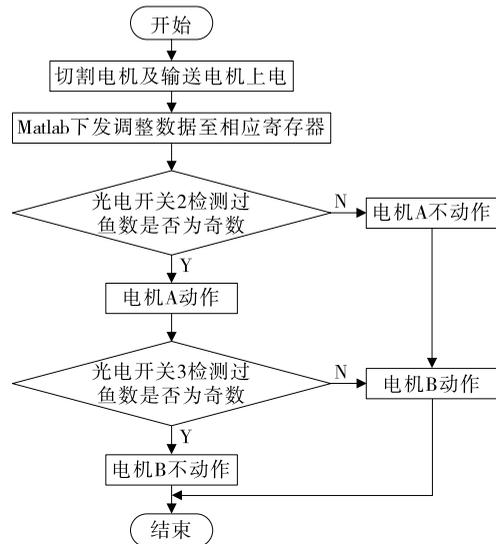


图 12 自适应调整系统主程序流程图

Figure 12 Main program flow chart of adaptive adjustment system

为方便操作者监测系统各项数据, 设计 Matlab GUI 控制界面, 包括控制面板区、图像显示区和参数显示栏 3 部分。控制面板区可以控制程序总体启停, 进入历史数据界面等操作; 图像显示区包括两个图窗, 其中左侧图窗显示相机采集的原始鱼体图像, 右侧图窗显示图像处理后的鱼头切割轨迹图, 便于操作者实时监测控制系统图像处理过程; 参数显示栏可以显示鱼体参数及调整装置动作状态等。历史数据界面显示每条鱼体参数信息, 并计算已加工鱼体体长及头长等数据。

3.3 系统测试及优化

选取 42 条经击晕处理的鲟鱼, 先对其进行夹持输送带选型试验, 再进行图像处理及位置调整试验。

在进行夹持输送带选型试验时, 将鱼体平放于输送带表面后经传送进行切割去头, 观察鱼体切割过程中是否稳定夹持, 即是否在沿输送带运行方向的水平或竖直方向偏移。选取 3 种输送带, 分别在每种输送带的传动下对 4 条鲟鱼进行去头切割, 输送速度设定为 10 cm/s, 刀速设定为 1 000 r/min, 输送机构上表面距夹持机构下表面距离设定为 7.5 cm, 共 12 次试验, 试验结果见表 2。

表 2 夹持输送带选型试验结果[†]

Table 2 Type selection test results of clamping conveyor belt

试验号	草坪纹皮带		光滑皮带		不锈钢链板	
	水平移动	竖直移动	水平移动	竖直移动	水平移动	竖直移动
1	—	—	—	—	+	—
2	—	—	—	—	+	+
3	—	—	—	+	—	+
4	—	—	—	—	—	+

[†] —表示未出现明显偏移, +表示出现明显偏移。

由表 2 可知,使用不锈钢链板作为输送带进行去头切割时,鱼体会发生多向偏移,导致鱼头切割轨迹线倾斜,影响去头断面感官,减小采肉率。而采用草坪纹和光滑皮带作为输送带切割过程较为稳定。虽然鲶鱼在不锈钢链板上的摩擦力最小且未发生扭曲现象,但由于在加工过程中需对鱼体进行夹紧,摩擦力过大会导致夹持不稳定,故不采用不锈钢链板作为传送带;同时由于鱼体与

草坪纹皮带间摩擦力较大,会导致自适应调整时鱼体发生扭曲,不利于精准的去头加工,故选用光滑皮带作为传送带。

在进行图像处理及位置调整试验时,对比体长与头长的实际测量长度与图像处理拟合长度、调整装置调整误差,同时利用计算机获取记录各环节处理时间,测试结果见表 3。

表 3 系统测试结果

Table 3 System test results

序号	体长			头长			调整距离			处理时间	
	实际测量/cm	图像处理/cm	误差/%	实际测量/cm	图像处理/cm	误差/%	理论值/cm	实际值/cm	误差/%	图像采集处理用时/s	调整装置动作用时/s
1	57.3	54.77	4.41	12.92	12.66	2.01	2.14	2.42	-13.08	3.53	2.83
2	60.2	58.86	2.23	13.23	13.55	-2.42	1.95	1.83	6.15	4.14	2.14
3	62.1	61.83	0.43	14.56	未识别					3.76	
4	55.3	53.21	3.79	12.88	12.97	-0.70	2.03	1.94	4.43	3.97	2.27
5	52.2	51.99	0.40	12.45	12.27	1.45	2.53	2.72	-7.51	3.11	3.18
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26	56.2	55.51	1.24	12.79	12.03	5.94	2.17	1.96	9.68	4.76	2.34
27	57.1	54.72	4.17	13.55	未识别					3.78	
28	60.5	59.07	2.36	13.53	13.95	-3.10	1.55	1.73	-11.61	3.52	2.14
29	60.3	59.34	1.60	13.38	13.65	-2.02	1.90	1.72	9.47	2.87	2.05
30	57.7	55.90	3.11	12.96	未识别					3.72	
平均值	59.12	56.54	4.37	13.47	13.02	3.34	1.96	1.75	10.71	3.98	2.21
最大值										4.85	3.31
识别成功率/%		100			90						

由表 3 可知,图像处理体长的判别成功率为 100%,体长均值较实际体长均值小 4.37%,原因是输送带运送过程中,鱼体尾部存在弯曲造成图像采集误差,但该误差对头部轨迹线的确定影响较小;头长图像处理值较实际值的平均误差为 3.34%,识别较为精准。30 组试验中,存在 3 组未能识别鱼头切割轨迹线的样本,头长的判别成功率达到 90%,经查验,检测失败原因是由于样本头盖骨曲线极不明显。经图像处理后进行自适应调整的平均误差为 0.21 cm,平均误差为 10.71%,在误差允许范

围内。

为适应图像处理系统不能识别出特定切割轨迹线这一问题,采用鲶鱼平均头长数据作为未识别鱼头切割轨迹线鱼体的自适应调整方案,以增强系统稳定性。

综合考虑系统结构及响应时间,拟设定输送速度为 10 cm/s,两组调整装置间隔 20 cm,调整装置距圆盘切割刀最近距离为 40 cm。由于图像处理最大时长约为 4.85 s,故设定自适应调整装置与图像采集装置间距为 50 cm;由于调整装置往返动作最大用时约 3.31 s,当系统

协同运作时,输送带上两条鱼体间隔最小应为 33.1 cm,但因为图像采集系统处理时间较长,为保证系统稳定性,适当增加输送带上前鱼体间距,由于每个格挡片间距为 10 cm,故设输送带上前鱼体间隔为 6 个格挡空间,即 60 cm。按市售鲟鱼平均重量约为 1.48 kg 计算,自适应去头加工机每小时可加工 600 条鱼,每天工作 8 h 则可加工 4 800 条鱼,重量约为 7 104 kg,可见加工效率得以保证。

4 结论

提出了一种鲟鱼自适应去头加工机。通过机器视觉技术提取流水线鱼体头部切割轨迹线,设计自适应调整装置调整鱼体位置,使圆盘切割刀能够按切割轨迹线进行去头作业。由于采用的图像处理方法较为简单,系统反应速度快,提升了加工效率,系统测试结果也证实系统的可靠性。后续可对鲟鱼的机械化与自动化去脏等其他前处理工艺设备进行研究。

参考文献

- [1] 夏伟伟, 孟庆国, 张畅原, 等. 淡水鱼往复去脏装置设计与工艺优化[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 124-129.
XIA W W, MENG Q G, ZHANG C Y, et al. Design and process optimization of reciprocating decontaminating device for freshwater fish[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 124-129.
- [2] HANSEN H I. Method of processing fish and a fish processing plant: US8092283 B2[P]. 2012-01-10.
- [3] 张军文, 陈庆余, 欧阳杰, 等. 中国淡水鱼前处理加工技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(21): 25-28, 41.
ZHANG J W, CHEN Q Y, OUYANG J, et al. Research progress on pretreatment and processing technology of freshwater fish in china[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(21): 25-28, 41.
- [4] 陈庆余, 沈建, 傅润泽, 等. 典型海产小杂鱼机械去头方法研究[J]. 渔业现代化, 2012, 39(5): 38-42.
CHEN Q Y, SHEN J, FU R Z, et al. Method study on mechanized head cutting for marine small fish[J]. Fishery Modernization, 2012, 39(5): 38-42.
- [5] 张帆. 淡水鱼去头方法及装置设计试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 12-14.
ZHANG F. Experimental study of the freshwater fish head-cutting method and the device design[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015: 12-14.
- [6] 邹伟. 淡水鱼连续去头尾装置的设计与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 9-11.
ZOU W. Design and experimental study on continuous head and tail removal device for freshwater fish[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018: 9-11.
- [7] 李楷模, 文跃兵. 视觉引导淡水鱼自动去头尾系统关键技术[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 141-143.
LI K M, WEN Y B. Key technology on head and tail auto-removing system for freshwater fish by visual guiding[J]. Food & Machinery, 2014, 30(5): 141-143.
- [8] 朱焯, 洪扬, 江涛, 等. 鱼体回转式分级机自动控制设计与试验[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(6): 204-208.
ZHU Y, HONG Y, JIANG T, et al. Design and test of automatic control of fish body rotary classifier[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(6): 204-208.
- [9] 王坤殿. 淡水鱼种类识别与重量在线检测方法研究及装备设计[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 2-7.
WANG K D. Research on on-line detection method and equipment design of freshwater fish species identification and weight[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015: 2-7.
- [10] 万鹏, 郭三琴, 杨俊, 等. 淡水鱼水平往复振动头尾定向输送方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 40-48.
WAN P, GUO S Q, YANG J, et al. Horizontal reciprocating vibration method for head-to-tail directional transportation of freshwater fish[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(4): 40-48.
- [11] 陈为, 李泽辰, 张婧, 等. 基于 HALCON 的工业机器人视觉系统标定方法研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(21): 137-141.
CHEN W, LI Z C, ZHANG J, et al. Research on calibration method of industrial robot vision system based on HALCON[J]. Electronic Measurement Technology, 2020, 43(21): 137-141.
- [12] 袁欣智, 江洪, 陈芸芝, 等. 一种应用大津法的自适应阈值水体提取方法[J]. 遥感信息, 2016, 31(5): 36-42.
YUAN X Z, JIANG H, CHEN Y Z, et al. Extraction of water body information using adaptive threshold value and OTSU algorithm[J]. Remote Sensing Information, 2016, 31(5): 36-42.
- [13] 杨静娴, 任小洪. 基于图像处理的白酒酒花轮廓检测[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 52-55, 145.
YANG J X, REN X H. Liquor hop contour detection based on image processing[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 52-55, 145.
- [14] 单慧勇, 张程皓, 李晨阳, 等. 鱼加工生产线头尾定向调理上料系统设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(3): 91-97.
SHAN H Y, ZHANG C H, LI C Y, et al. Design and test of head and tail directional conditioning feeding system in fish processing production line[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(3): 91-97.
- [15] 刘成龙. MATLAB 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017: 330-331.
LIU C L. MATLAB image processing[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017: 330-331.