

# 基于线激光扫描的鱼尾切割位置识别方法研究

马骏骁<sup>1</sup>, 康家铭<sup>1</sup>, 龚泽<sup>1</sup>, 李刚<sup>2</sup>, 张旭<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>大连工业大学机械工程及自动化学院, 辽宁 大连

<sup>2</sup>济南好为尔机械设备有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2022年3月11日; 录用日期: 2022年4月5日; 发布日期: 2022年4月14日

## 摘要

鱼尾切割是鱼类食材分切加工的重要工序之一, 机械式切割的合格率和得肉率低, 无法满足大规模生产加工的需求。为实现鱼尾自动化精准切割, 本文提出一种基于线激光扫描的鱼尾切割位置快速识别方法。利用线激光扫描传感器采集的鱼体表面信息进行鱼体外轮廓点云数据曲线拟合, 建立鱼体宽度随长度变化函数, 计算出最大宽-长函数导数为0点的位置, 将其作为鱼尾切割位置, 结果显示全体样本的相对误差值均小于5%, 相对标准偏差(RSD)值为2.265%。研究结果可为开发鱼类智能切割设备提供理论参考。

## 关键词

线激光扫描, 位置识别, 预测模型, 鱼尾切割

# Research on Fishtail Cutting Position Recognition Method Based on Line Laser Scanning

Junxiao Ma<sup>1</sup>, Jiaming Kang<sup>1</sup>, Ze Gong<sup>1</sup>, Gang Li<sup>2</sup>, Xu Zhang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering & Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>Jinan Hiwell Machinery Equipment Limited Company, Jinan Shandong

Received: Mar. 11<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 5<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 14<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Fishtail cutting is one of the most important processes of fish food material cutting. Mechanical

\*通讯作者。

文章引用: 马骏骁, 康家铭, 龚泽, 李刚, 张旭. 基于线激光扫描的鱼尾切割位置识别方法研究[J]. 传感器技术与应用, 2022, 10(2): 202-210. DOI: 10.12677/jsta.2022.102025

cutting pass rate and meat rate are lower, which cannot meet the requirements of large-scale production lines. In order to realize the automatic and precise cutting of fishtails. This paper presents a fast recognition method of fishtail cutting position based on line laser scanning. Using the fish surface information collected by the line laser scanning sensor, curve fitting of fish contour point cloud data was carried out, and establish the function of fish width with length, calculate the position where the derivative of the maximum width-length function is 0 and take it as the fishtail cutting position. The result showed that the relative errors of all samples were less than 5% and Relative Standard Deviation (RSD) value was 2.265%. The research results can provide theoretical reference for the development of integrated intelligent processing equipment.

## Keywords

Linear Laser Scanning, Location Recognition, Prediction Model, Fishtail Cutting

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

中国鱼类食材的工业化加工起步较晚, 机械化及自动化程度低, 大部分的加工方式仍然采用手工作业完成[1]。随着鱼类食材工业化规模日益增长, 传统人工处理方式费时费力, 加工效率低, 且对加工人员的技巧性要求较高[2], 无法适应大宗鱼类短时、大批量生产需求, 机械式切割已越来越多地替代人工方式。去尾是鱼类食材工业化加工过程中鱼类切制环节的一道重要工艺, 现有去尾工艺设备主要采用定参数切割模式[3], 如加工量设定过小, 会导致得肉率降低, 造成浪费; 加工量设定过大, 刀具在鱼尾鳍处下刀容易造成刀具损伤, 导致切割失败, 甚至造成整个设备运行故障, 因此机械式去尾加工的切割精度、加工合格率和得肉率均不理想[4], 开发智能化去尾加工设备成为行业的亟需, 而如何实现鱼尾切割位置的在线快速识别成为智能装备研发的核心问题。

动态三维重构是先进制造、食品及农产品加工领域实现快速、准确轮廓特征识别的重要技术之一[5][6], 被测物轮廓数据的采集主要通过单/双目视觉、激光、超声、核磁、X光等手段实现。其中, 单/双目视觉常用于室内定位、三维场景的可视化重构等[7][8][9]; 超声、核磁、X光多用来对物体内部进行探查等[10][11]。激光传感器适合大批量装机使用, 且不易受到外界光照环境的影响, 在畜牧业的形体监测[12], 农作物的种植、修剪[13]等方面都已取得很好的应用。结合工业上鱼去尾加工速度快、要求测量精度高、加工环境复杂多变等技术特点和装机量大等设备特点, 本文选用激光扫描技术进行鱼体表面数据信息采集。此外, 要实现鱼尾精确切割控制, 则需搭建可靠的数学模型来进行预测[14][15]。鱼尾位置的自动识别将受到众多随机、非线性因素影响, 上述研究为本研究鱼尾位置自动识别模型的建立提供了大量参考和支持。

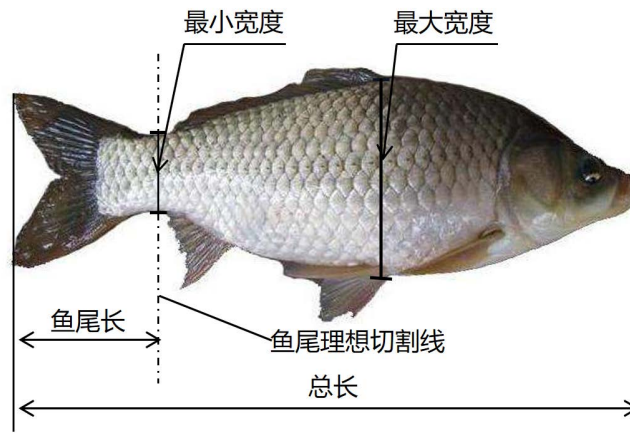
本研究旨在利用所构建的鱼体表面轮廓激光扫描系统, 探索实现鱼尾位置自动识别的可行性, 提出基于三维轮廓信息的鱼尾快速识别方法, 为自动化和智能化去尾加工提供快速、准确的切割路径规划。本文主要研究内容为: 1) 构建鱼体数据信息激光扫描系统, 实现鱼体外表面轮廓信息的自动采集; 2) 通过鱼体轮廓信息数据有效性判别, 实现鱼体径向截面轮廓信息的特征提取; 3) 通过鱼体轮廓宽度变化曲线拟合, 提出基于鱼体宽度信息的鱼尾位置判别方法, 为鱼尾精确切割规划提供依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料制备

本文以鲫鱼为试验对象开展相关研究。实验样本购置于中国大连水产批发市场。随机选取 204 个鲫鱼样本，放置在带冰的恒温箱中迅速运回实验室。

对鱼的形体参数进行定义，如图 1 所示。其中，将鱼臀鳍和尾鳍间鱼体最窄处定义为最小宽度[16]。经企业调研发现，为了减少去尾操作时的鱼肉损伤，工人根据经验通常选择在鱼体最小宽度处切割，因此本文将经过鱼体最小宽度的切割线设定为鱼尾的理想切割线。对鱼体样本进行手工测量，获得鱼形体参数的统计数据如表 1 所示。



**Figure 1.** Relationship between tail cutting position and fish body parameters

**图 1.** 鱼尾切割位置与鱼体参数的关系

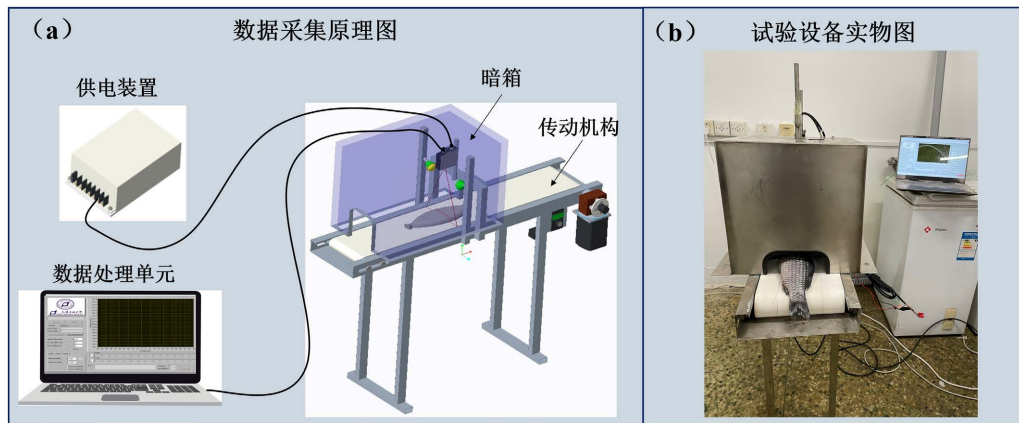
**Table 1.** Index statistics of fish sample data

**表 1.** 鱼体样本数据指标统计

样本数	统计指标	鱼尾长度/mm	总长度/mm	重量/g	最大宽度/mm	最大厚度/mm
204	最大值	228.2	239.4	569	103.7	51.54
	最小值	190.6	200.8	473	94.6	45.3
	平均值	213.7	54.6	532.1	100.9	47.49
	标准偏差	8.3	8.9	21.6	2.2	1.85

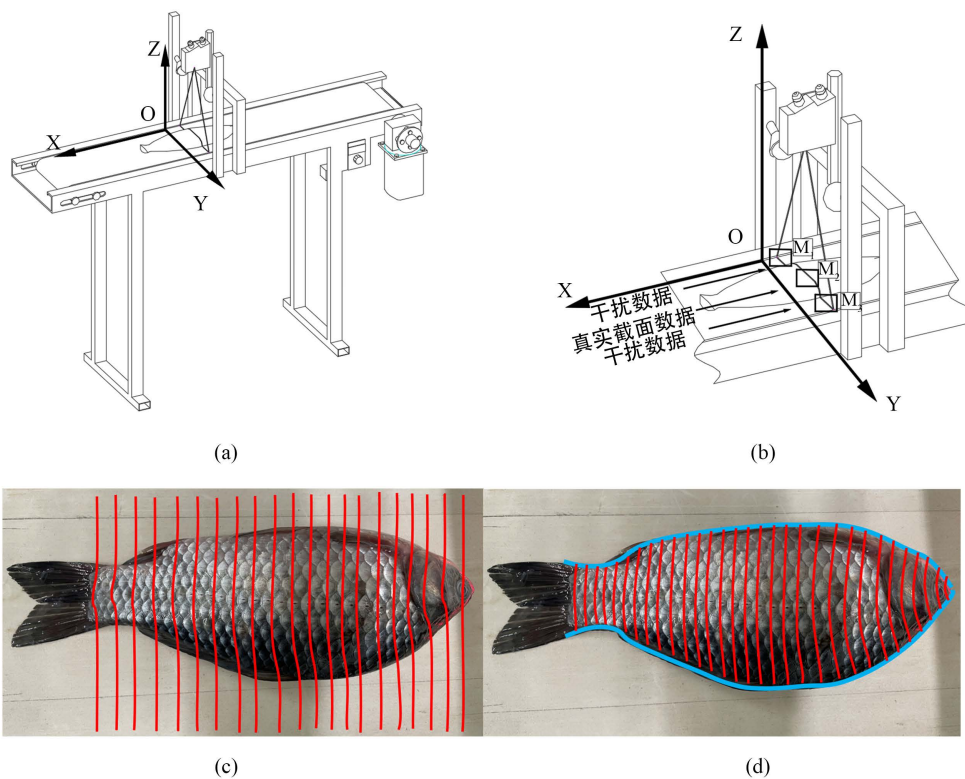
### 2.2. 仪器与设备

本研究利用搭建的激光扫描系统采集鱼体三维轮廓信息，如图 2(a)所示，系统主要由线激光扫描传感器(LLT-2600 scanContra2D/3D, German)、传动机构、暗箱以及数据处理单元构成。其中传动机构由输送带和驱动装置构成，输送带可在伺服电机驱动下水平线性输送物料，为模拟实际生产中 1500 条/h 的加工速度，电机转速设定为 6.6 rpm；暗箱中装配两组条形光源，分置在暗箱两侧；数据处理单元由计算机控制，用来实现对采集的原始鱼体信息进行数据分割及滤波等预处理。图 3(a)、图 3(b)所示为激光扫描示意图。数据采集时，鱼头朝向与输送方向一致，激光传感器开始扫描鱼体，获得的轮廓信息实际为若干条包含鱼体截面轮廓信息的点云数据(图 3(c))。



**Figure 2.** Fish profile laser scanning system: (a) Data acquisition schematic diagram; (b) Physical drawing of test equipment

**图 2.** 鱼体轮廓激光扫描系统：(a) 数据采集原理图；(b) 试验设备实物图



**Figure 3.** (a) Coordinate diagram; (b) Scan process diagram; (c) Radial section contour diagram; (d) Z projection contour diagram

**图 3.** (a) 坐标示意图；(b) 扫描过程示意图；(c) 径向截面轮廓示意图；(d) Z 向投影轮廓示意图

### 2.3. 鱼尾切割位置预测方法

根据上文鱼尾理想切割线的定义，鱼尾切割位置预测问题实质上被转化为基于鱼体扫描数据的最小宽度位置识别。本文的研究思路为：

- 1) 采用对阈值分割法对线激光扫描数据进行预处理，获得鱼体截面轮廓信息的点云数据；
- 2) 计算每个径向截面上的鱼体宽度，建立鱼体宽度随长度变化的长度曲线；

- 3) 对鱼体宽度变化曲线进行求导处理, 获得鱼体最小宽度位置信息;
- 4) 通过实验对比鱼体最小宽度计算值和测量值, 分析该方法预测鱼尾切割位置的精度。

如图 3(b)所示, 由于线激光的宽度大于其扫描的鱼体, 在采集鱼体轮廓数据过程中必然会同时采集鱼体两侧输送带表面形成的干扰数据[17]。本文采用阈值分割法去除干扰数据同时能够保留鱼体表面有用信息, 进而进行后续处理。阈值分割法计算过程如下。

$$[M] = \begin{cases} [M_1, M_3], & \Delta h_1 < T, \Delta h_2 < T \\ [M_2], & \Delta h_1 > T, \Delta h_2 > T \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta h_1 = |M_1 - M_2| \quad (2)$$

$$\Delta h_2 = |M_2 - M_3| \quad (3)$$

式中,  $[M_2]$  为鱼体径向截面数组,  $[M_1]$ 、 $[M_3]$  为鱼体两侧传送带的径向截面数组,  $\Delta h_1$  为  $[M_1]$  右端点高度值与  $[M_2]$  左端点高度值之间相邻元素差的绝对值,  $\Delta h_2$  为  $[M_2]$  右端点高度值与  $[M_3]$  左端点高度值之间相邻元素差的绝对值,  $[M]$  为阈值分割后的数组,  $T$  为分割阈值(本研究  $T$  值设为 5 mm)。

通过径向截面轮廓数据端点的拟合, 获得如图 3(d)所示的蓝线即鱼体边缘轮廓线, 据此建立鱼体宽度计算模型, 实现鱼体最小宽度位置即鱼尾理论切割位置的识别。设鱼体经激光扫描获得  $n$  组径向截面轮廓数组值, 定义第  $i$  组数据为  $[A_i]$ , 则该处的鱼体宽度计算过程如下式,

$$d_i = y_{\max}^i - y_{\min}^i \quad (4)$$

式中,  $d_i$  为  $[A_i]$  处的鱼体宽度,  $y_{\max}^i$  和  $y_{\min}^i$  为  $[A_i]$  两端的元素  $A_{y_{\max}}^i$  和  $A_{y_{\min}}^i$  的  $Y$  向坐标值, 经三次多项式拟合, 鱼体宽度  $D$  可通过下式计算:

$$D(x) = \sum_{i=1}^n k_i d^i(x_i) \quad (5)$$

式中,  $k_i$  为第  $i$  个拟合系数,  $x_i = i\lambda$ ,  $\lambda$  为取样间距。

根据鱼类形体特征, 鱼体最大宽度位置位于鱼体的前半部, 鱼体最小宽度位置位于鱼体的后半部, 其计算过程如下,

$$\min D = \sum_{i=q}^n k_i d(x_i), \quad q = \frac{n}{2} + 1 \quad (6)$$

$$D'(x_{D_{\min}}) = 0, \quad q\lambda \leq x_{D_{\min}} \leq n\lambda \quad (7)$$

式中,  $x_{D_{\min}}$  为鱼尾切割位置对应的鱼体长度,  $D'(x_{D_{\min}})$  为鱼体宽度随长度变化的导数,  $n$  为采样个数。

## 2.4. 评价指标

本文采用相对误差( $\delta$ )与相对标准偏差(RSD)对鱼尾切割位置识别精度进行评价。其中相对误差值越小说明预测值与真实值之间的差距越小, 即可信程度越高, 相对标准偏差越小说明数据之间的波动性越小, 即精密程度越高[18] [19]。在实际生产加工中, 相对误差在 5% 以内、相对标准偏差在 10% 以内基本可满足用户的需求[20] [21]。计算公式如下:

$$\Delta = |x_{D_{\min}} - x'_{D_{\min}}| \quad (8)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{D_{\min}}} \quad (9)$$

$$\bar{x}_{D_{\min}} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{D_{\min}j}}{n} \quad (10)$$



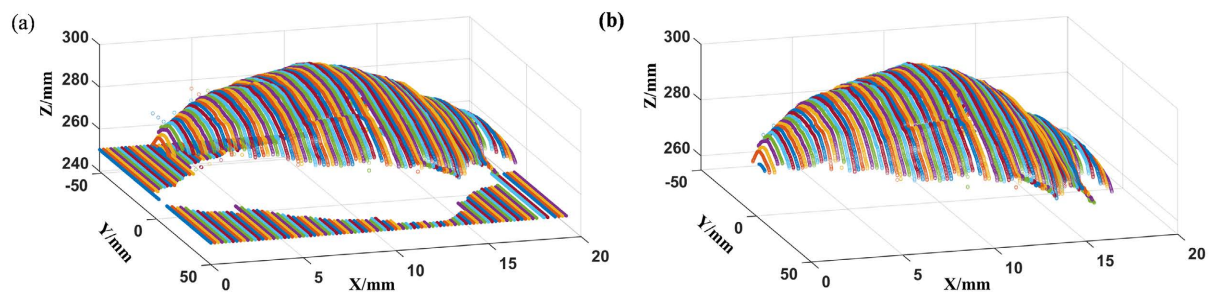
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{D\min_j} - \bar{x}_{D\min})^2}{n-1}} \quad (11)$$

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}_{D\min}} \times 100\% \quad (12)$$

式中,  $x_{D\min}$  为实测值,  $x'_{D\min}$  为预测值,  $\Delta$  为绝对误差,  $\delta$  为相对误差,  $x_{D\min_j}$  为第  $j$  个测量数据,  $\bar{x}_{D\min}$  为测量数据的算数平均值,  $n$  为样本个数,  $SD$  为测量数据的标准偏差,  $RSD$  为相对标准偏差。

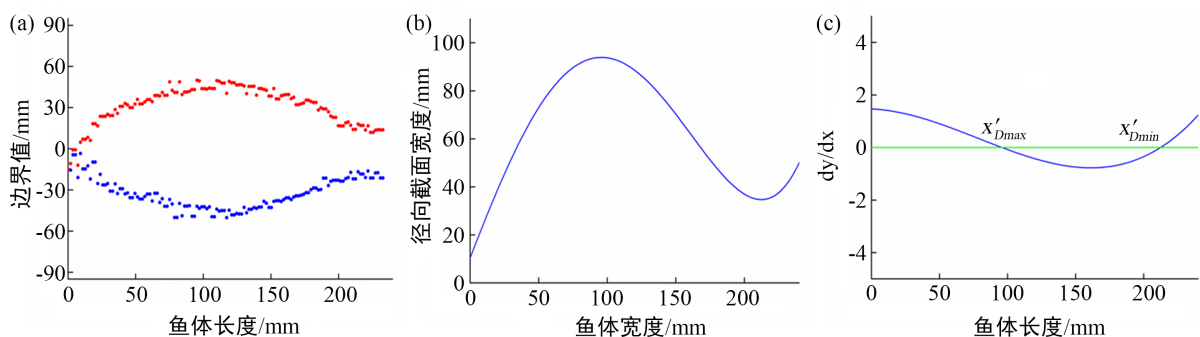
### 3. 结果与讨论

如图 4(a)所示, 激光扫描后得初始点云数据包括传送带轮廓和鱼体表面轮廓点云数据, 传送带轮廓的水平高度最大值为 250.32 mm, 根据 2.3.2 所述方法将鱼体两侧传送带数据去除, 实现部分数据降维, 消除鱼体轮廓外的干扰信息(图 4(b))。



**Figure 4.** Upper surface data collection of fish: (a) Laser point cloud data collection; (b) Fish surface data after segmentation  
**图 4.** 鱼体上表面数据采集: (a) 激光点云数据采集; (b) 分割后的鱼体表面数据

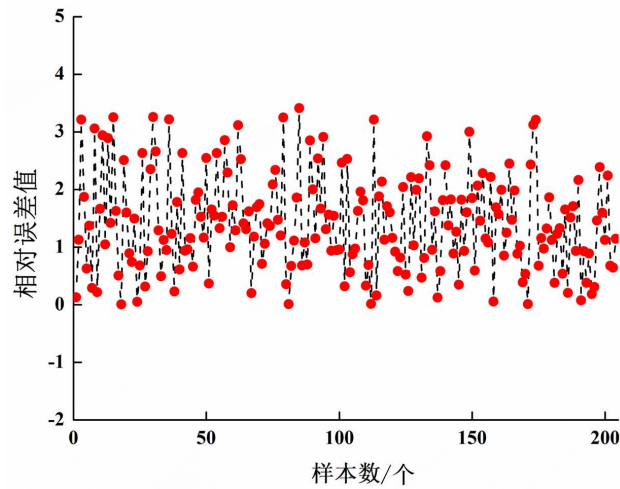
根据 2.4 所述方法, 对经滤波处理后的鱼体表面点云数据进行鱼体径向截面轮廓数据端点提取, 获得了如图 5(a)所示的鱼体的外轮廓点云数据。通过三次多项式拟合建立鱼体宽度随鱼体长度变化的函数, 利用求导法则得到鱼体宽-长函数的极值点, 即为鱼体的最大和最小宽度所处位置, 其中  $x_{D\min}$  为鱼尾的理想切割位置(图 5(c)), 用于实现鱼尾切割位置的预测。



**Figure 5.** Extraction of fish contour information: (a) Fish external contour; (b) Fish width function; (c) Fish width derivative  
**图 5.** 鱼体轮廓信息的提取: (a) 鱼体外轮廓; (b) 鱼体宽度函数; (c) 鱼体宽度导数

所得各样本鱼尾切割位置长度的实测值与预测值的对比结果如表 2 所示, 经分析计算, 全部样本的相对误差值在 0.023%~3.63%之间(图 6), 均小于 5%, 识别效果较好[22]。总体样本数据的  $RSD$  值为 2.265%, 预测值的可信度较高, 说明基于鱼体外轮廓点云数据曲线拟合法对鱼尾切割位置的识别具有良好效果。

在后续的研究中可通过增加样本数量以及选择其他重量的鱼体样本进行对照试验，依此增加本研究方法可信度。



**Figure 6.** The relative error of the sample data  
**图 6.** 样本数据的相对误差值

**Table 2.** Comparison between measured value and predicted value of fishtail cutting position  
**表 2.** 鱼尾切割位置实测值与预测值对比图

	鱼尾切割位置 实测值/mm	鱼尾切割位置 预测值/mm
1	220	219.872
2	221	219.872
3	222	225.214
4	218	219.872
5	219	219.63
6	221	219.63
7	215	223.29
8	206	209.059
9	222	212.216
10	220.5	216.836
...	...	...
204	212	214.354

#### 4. 结论

本研究提出了基于线激光扫描设计了一种鱼尾切割位置快速识别方法，构建了鱼类原料输送过程中鱼体轮廓的激光扫描测量系统。基于鱼尾切割位置特征，提取鱼体外轮廓信息，建立了鱼体宽度 - 长度变化的三次多项式函数，通过导数运算判别鱼体最小宽度位置，从而获得的各个样本鱼尾理论切割位置。试验结果表明，对鱼尾切割位置长度实测值和预测值进行对比，其相对误差均小于 5%，总体样本的 RSD 为 2.265%，鱼尾识别的可信度较高。本文方法可满足对鱼尾进行精准切割加工要求，为鱼类食材智能化

切割装备研发提供参考。

## 基金项目

本项目受大连市科技创新基金项目(2021JJ13SN85); 辽宁省自然科学基金(2020-MS-273)和辽宁省教育厅项目(LJKZ0511、LJKZ0542)联合资助。

## 参考文献

- [1] Li, J., Lu, H., Zhu, J., Wang, Y. and Li, X. (2009) Aquatic Products Processing Industry in China: Challenges and Outlook. *Trends in Food Science & Technology*, **20**, 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.008>
- [2] 王亚楠. 切割损伤对冷鲜草鱼制品贮藏品质影响研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015.
- [3] 陈庆余, 沈建, 傅润泽, 谈佳玉, 张敬峰. 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. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9580.2012.05.008>
- [4] Wang, H., Zhang, X., Li, P., Sun, J. and Liu, Y. (2020) A New Approach for Unqualified Salted Sea Cucumber Identification: Integration of Image Texture and Machine Learning under the Pressure Contact. *Journal of Sensors*, No. 4, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/8834614>
- [5] Mustafa, A., Volino, M., Kim, H., Guillemaut, J.Y. and Hilton, A. (2020) Temporally Coherent General Dynamic Scene Reconstruction. *International Journal of Computer Vision*, **129**, 123-141. <https://doi.org/10.1007/s11263-020-01367-2>
- [6] Wang, J., Yang, Y. and Zhou, Y. (2021) Dynamic Three-Dimensional Surface Reconstruction Approach for Continuously Deformed Objects. *IEEE Photonics Journal*, **13**, Article ID: 6800415. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2021.3052932>
- [7] Zhang, C. (2020) Binocular Vision Navigation Method of Marine Garbage Cleaning Robot in Unknown Dynamic Scene. *Journal of Coastal Research*, **103**, 864-867. <https://doi.org/10.2112/SI103-179.1>
- [8] Liu, X., Chen, B., He, Y. and Li, D. (2020) Development of an Autonomous Object Transfer System by an Unmanned Aerial Vehicle Based on Binocular Vision. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, **17**, 1-17. <https://doi.org/10.1177/1729881420907732>
- [9] Zhi, L., Xiang, C.Q. and Chen, T. (2018) Automated Binocular Vision Measurement of Food Dimensions and Volume for Dietary Evaluation. *Computing in Science and Engineering*, No. 99, 1. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2018.243113429>
- [10] Antequera, T., et al. (2020) Evaluation of Fresh Meat Quality by Hyperspectral Imaging (HSI), Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Magnetic Resonance Imaging (MRI): A Review. *Meat Science*, **172**, Article ID: 108340. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108340>
- [11] Ando, M., Sugiyama, H., Maksimenko, A., Rubenstein, E., Roberson, J., Shimao, D., et al. (2004) X-Ray Dark-Field Imaging and Its Application to Medicin. *Radiation Physics & Chemistry*, **71**, 899-904. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.04.127>
- [12] 初梦苑, 刘刚, 司永胜, 冯凡. 基于三维重建的奶牛体重预估方法[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(S1): 385-391.
- [13] Tsoulias, N., Xanthopoulos, G.G., Fountas, S. and Zude-Sasse, M. (2020) *In-Situ* Detection of Apple Fruit Using a 2D LiDAR Laser Scanner. *IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, Trento, 4-6 November 2020, 278-282. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277629>
- [14] Chen, H., Liu, Z., Jie, G., Wu, A., Wen, J. and Cai, K. (2018) Quantitative Analysis of Soil Nutrition Based on FT-NIR Spectroscopy Integrated with BP Neural Deep Learning. *Analytical Methods*, **10**, 5004-5013. <https://doi.org/10.1039/C8AY01076E>
- [15] Cobourn, W.G., Dolcine, L., French, M. and Hubbard, M.C. (2000) A Comparison of Nonlinear Regression and Neural Network Models for Ground-Level Ozone Forecasting]. *Air Repair*, **50**, 1999-2009. <https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464228>
- [16] 蔡原, 刘哲, 宋明伟, 李霁昕, 蒋玉梅. 虹鳟不同部位鱼肉挥发性风味物质组成比较[J]. *食品科学*, 2011, 32(16): 269-273.
- [17] 徐淑婷. 线激光在机测量关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2017.
- [18] Jia, J., et al. (2019) Calibration Curve and Support Vector Regression Methods Applied for Quantification of Cement Raw Meal Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. *Plasma Science and Technology*, **21**, Article ID: 034003. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/aae3e1>



- [19] 丁岚, 谢孟峡, 刘媛, 等. 高效液相色谱法测定鸡蛋中呋喃唑酮的残留量[J]. 分析化学, 2004, 32(2): 139-142.
- [20] 许林云, 韩元顺, 陈青, 等. Data-SSI 与图论聚类结合识别果树固有频率[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 136-145.
- [21] 胡力, 王芳梅, 吕明珊, 等. 不同贮藏温度下真空包装鸡肉酱品质变化及货架期模型的建立[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 132-138.
- [22] Yarahmadi, N. and Vatankhah, A.R. (2021) Experimental Study on Rectangular Cut-Throated Flume: Effects of Flume Walls Slopes and Channel Longitudinal Slope. *Flow Measurement and Instrumentation*, **79**, Article ID: 101919. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.101919>