

基于线激光扫描的鱼类定量切段方法

Research on quantitative fish segmentation method based on line laser scanning

马骏骁¹ 龚 泽¹ 康家铭¹

MA Jun-xiao¹ GONG Ze¹ KANG Jia-ming¹

张 旭¹ 王慧慧^{1,2} 李 刚³

ZHANG Xu¹ WANG Hui-hui^{1,2} LI Gang³

(1. 大连工业大学机械工程及自动化学院, 辽宁 大连 116034; 2. 国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁 大连 116034; 3. 济南好为尔机械设备有限公司, 山东 济南 250102)

(1. School of Mechanical Engineering & Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China; 2. National Engineering Research Center of Seafood, Dalian, Liaoning 116034, China; 3. Jinan Hiwell Machinery Limited Company, Jinan, Shandong 250102, China)

摘要:目的:实现鱼类制品前处理加工鱼肉定量切段机械化。方法:利用线激光扫描得到的鱼体轮廓数据和鱼体重量随体长的分布数据,并据此构建鱼体定重切段和等重切段的定量化分切模型,通过试验验证方法的有效性和准确性。结果:鱼体重量分布模型的预测精度 $>91\%$;给定段重为 10, 15, 20 g 时的平均绝对误差分别为 0.16, 0.38, 1.15 g;给定段数为 10, 15, 20 段时的平均绝对误差分别为 2.44, 1.35, 0.67 g。结论:定重切段时,切割误差随给定重量增大而提高;等重切割时,给定段数越少,切割误差越大,该方法可满足实际生产中定量切段加工精度要求。
关键词:线激光扫描;重量分布;定重切段;等重切段;鱼肉分切

Abstract: Objective: To realize the mechanization of quantitative cutting of fish before processing fish products. Methods: Obtained the fish contour data by linear laser scanning, the distribution of fish body weight with body length was obtained. The quantitative cutting models of fish body with fixed weight and equal weight were constructed, and the validity and accuracy of the method were verified by experiments. Results: The results showed that the predicted curve of fish body weight distribution was close to

the real distribution curve, the accuracy of 10 fish was above 91%. The mean absolute errors were 0.16, 0.38 and 1.15 g, respectively. For a given segment weight of 10, 15 and 20 g, the mean absolute errors of 10, 15 and 20 segments were 2.44, 1.35 and 0.67 g, respectively. Conclusion: The research results provide a feasible idea for quantitative segmentation processing of fish, and provide a theoretical reference for the development of intelligent fish processing machinery.

Keywords: linear laser scanning; weight distribution; constant weight segmentation; equal weight segmentation; intelligent processing

鱼类加工主要工艺流程包括去鳞、去脏、清洗、去头/尾、切割,其中切割是切制规划中的重要环节,直接影响产品的加工质量与得肉率^[1-3]。根据市场需求,鱼肉切段工艺主要分为定长切割和定量切割^[4-7]。定长切割的加工原理相对简单,容易实现机械化作业^[8-9];给定段重、段数的定量化切割目前仍以人工为主,误差极大,无法实现高精度的定量切制。

鱼类定量化切段的前提是获得鱼体的质量/体积的三维信息。而鱼类属于具有个体差异性的非规则形状物料,为了提升鱼类加工的智能化和自动化,国内外学者在鱼类加工的智能测控领域开展了相关研究^[10],如鱼的种类识别^[11-12],鱼体尺寸及外观形态测量^[13-14],鱼体重量预测^[15-16]等。机器视觉可获取鱼的形态、纹理、图像等信息而被广泛用于鱼肉的品质鉴别及质量评估上^[17-18]。上述研究均是通过机器视觉方式采集鱼体数据,主要是

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0700905);辽宁省自然科学基金(编号:2020-MS-273);辽宁省教育厅项目(编号:LJKZ0542)

作者简介:马骏骁,男,大连工业大学在读硕士研究生。

通信作者:张旭(1978—),男,大连工业大学副教授,博士。

E-mail: zhangxu_dipu@163.com

收稿日期:2022-01-28 **改回日期:**2022-07-03

利用鱼体二维信息开展研究。激光扫描技术是农产品和食品加工领域快速获得物料三维形体信息的主要测量手段,被应用于畜禽形体检测^[19-20],农作物的种植、修剪^[21-22]等方面。激光扫描技术满足鱼类切段加工中形体检测的速度和精度要求。研究拟构建基于激光扫描的鱼类原料三维形体的动态测量系统,在此基础上建立定重和等重两种定量切段的规划模型,探索实现鱼体自动计重切割的可行性,为智能一体化的加工装备研制提供快速、准确的切割路径规划及控制方法提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以新鲜的鲮鱼鱼肉为对象,个体重量范围为 600~900 g,对鱼体进行三枚开片处理,获得脊骨两侧的两枚鱼片^[23],以开片后的鱼肉作为试验样本。

1.2 仪器与设备

图 1 为自制的激光扫描试验台,由机械主体、输送装置、试验暗箱、数据采集装置组成。输送装置采用带传动,可在伺服电机驱动下水平线性输送物料;试验暗箱中配置两组光源,分置在暗箱两侧;数据采集装置由线激光扫描传感器(LLT-2600 scanContra2D/3D 型,德国)、供电装置组成,激光扫描传感器每次扫描 640 个点,扫描频率 300 Hz,上位机与传感器间通过以太网(Ethernet)传输数据,采用 Modbus-TCP 协议实现通讯。

激光传感器发射的激光线所在的平面与传送带的输送方向垂直。如图 2 所示,规定激光源垂线与传送带表面所在水平面的交点定义为 O 点,高度方向为 Z 向,激

光方向为 Y 向,传送带输送反方向为 X 向。将鱼体放置在传送带上方,通过控制调节步进电机的转速从而使传送带以一定的速度做匀速直线运动,鱼头方向在前,鱼尾方向在后。扫描过程中,通过设定相应的阈值将鱼体两侧的传送带干扰数据去除,以卡尔曼滤波和中值滤波的方式对数据进行去噪处理。

1.3 鱼体重量分布预测模型

1.3.1 模型建立 在鱼体长度方向上以一定的采样间距进行鱼体扫描,可利用每次扫描的点云数据建立鱼体径向截面轮廓曲线,从而获得一系列的截面轮廓曲线,截面高度 z 与宽度 y 的关系为:

$$z(y) = a_0 + a_1y + a_2y^2 + \cdots + a_ny^n. \quad (1)$$

以最小二乘法求得多项式的各阶拟合系数 a_n :

$$D^T D \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = D^T \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & \cdots & y_1^m \\ 1 & y_2 & \cdots & y_2^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & y_n & \cdots & y_n^m \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中:

D ——输入矩阵。

理论上,所选择的多项式项越多,则 z 与 y 之间的拟合程度越接近于理论曲线。但在实际运用中,随着多项式项数的增加,既会产生过拟合,又会因计算量的加大而

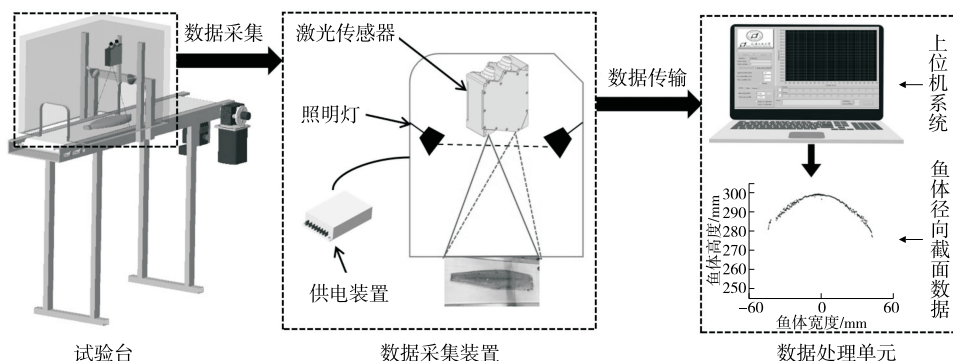


图 1 激光扫描试验装置

Figure 1 Laser scanning test device

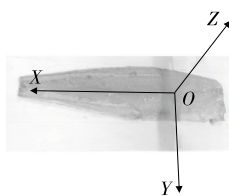


图 2 激光扫描数据分布

Figure 2 Data distribution of laser scanning

对传感器的测量精度产生影响,式(2)、式(3)阶数一般不超过 5 次^[24],故选择三次多项式拟合进行计算。

对鱼体径向截面轮廓曲线进行积分,鱼体径向截面面积:

$$A = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} z(y) dy, \quad (4)$$

式中:

$y_{\max}$ 、 $y_{\min}$ ——鱼体径向截面两侧端点的 y 坐标

值,mm。

则鱼体的沿体长方向的重量分布模型可表示为:

$$w(x_i) = \rho A_i, \quad (5)$$

式中:

ρ ——鱼体密度, g/cm³。

假设某鱼体样本经激光扫描获得了 t 个截面的采样数据,鱼体总重量可表示为:

$$W_{\text{total}} = \lambda \sum_{i=1}^t w(x_i), \quad (6)$$

$$\lambda = v/f, \quad (7)$$

式中:

λ ——采样步长,mm;

v ——传送带速度,mm/s;

f ——采样频率,Hz。

1.3.2 验证实验

(1) 取 10 个鱼片样本,将鱼片在鱼肚末端及臀鳍末端处切割成 3 段,采用电子计重秤和排水法进行重量和体积的测量,取其平均值作为鱼肉的密度。

(2) 取 10 个鱼片样本,放置于传输装置上以 3.2 mm/s 的速度进行水平输送,在鱼体长度区间内,以 0.2 s 为采样间距进行鱼体表面轮廓数据采集,建立各样本重量随体长变化的预测曲线。

(3) 以 10 mm 为间距对上述样本进行等长切段,测量每段重量,建立重量随长度变化的实测曲线,分析鱼体重量分布的预测误差。

1.4 鱼体定量切段规划方法

鱼类前处理中定量化分切需求多种多样,为便于建模和试验,对定量切段方案进行如下规定:对去脊骨后的鱼片原料从前至后进行正切操作(切割截面垂直于鱼片的体长方向),定重切段是按给定段重依次切割,当鱼片原料剩余部分小于给定重量时停止分切;等重切段是按给定段数依次切割,使得各段重量相等且无余料的分切方案。定量切段规划的目的是根据鱼体重量分布计算出上述分切方案下鱼体样本各段分切的长度数据。

1.4.1 模型建立 对于定重切段规划问题,设给定的切段重量为 w^* ,基于式(5)对鱼体分布重量按扫描次序进行累加,每次累加后与给定重量进行比较,当两者差值的绝对值小于允许误差 ϵ 时,此时累计的步长 λ 之和即为第 1 段的切割长度,重复上述过程,直至鱼体剩余重量小于 w^* 。定重切段的段长可表示为:

$$\left| \sum_{i=k_{p-1}+1}^{k_p} w(x_i) - w^* \right| \leq \epsilon, p \in N^+, k_0 = 0, \quad (8)$$

$$L_p = (k_p - k_{p-1} - 1) \cdot \lambda, \quad (9)$$

式中:

L_p ——第 p 段的长度,mm;

k_p ——在鱼体前 p 段长度上的激光扫描的采样次数。

对于等重切段规划问题,设鱼体需要切割为等重的 p 段,此时给定的切段重量 w^* 可表示为:

$$w^* = W_{\text{total}}/q. \quad (10)$$

等重切段时,在鱼体完成扫描后,先按式(6)、式(7)计算鱼体总重量 W_{total} ,再根据式(10)计算给定重量 w^* ,最后根据式(8)、式(9)计算各段的切割长度。

1.4.2 验证实验 根据鱼类加工企业对于鱼肉分切的实际需求确定定量分切工艺参数(给定重量、给定段数)的取值区间,建立如表 1 的试验方案,按定重和等重两种分切方案及参数进行切割规划,给出每切割位置的长度坐标值;根据规划结果对鱼片样本进行分切,称量各段的重量,分析分切工艺参数对切段误差的影响。每组试验重复 3 次,样本各段的重量测量值取平均值。

1.5 精度验证

采用相对误差和平均绝对误差(MAE)^[25]作为批量鱼样本重量分布预测和分切加工精度的评价指标。实际生产加工中,相对误差在 10%以内基本可满足用户的需求^[26]。

$$\delta = \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}, \quad (11)$$

$$S_{\text{ME},i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (12)$$

式中:

n ——变量个数;

y_i ——实测值,g;

$\hat{y}_i$ ——预测值,g;

δ ——相对误差;

$S_{\text{ME},i}$ ——平均绝对误差。

2 结果与分析

2.1 鱼体密度

选取 10 个鱼体样本,每个样本分为 3 段进行测量,测量结果如表 2 所示。经计算,该批样本的密度平均值为 1.08 g/cm³。

表 1 试验方案

Table 1 Test scheme

分组	编号	切割策略	试验条件	分组	编号	切割策略	试验条件
第 1 组	1~10	定重切段	10 g/段	第 4 组	31~40	等重切段	10 段/片
第 2 组	11~20	定重切段	15 g/段	第 5 组	41~50	等重切段	15 段/片
第 3 组	21~30	定重切段	20 g/段	第 6 组	51~60	等重切段	20 段/片

表 2 鱼肉密度测量数据

样本数	第一段密度	第二段密度	第三段密度	平均密度
1	1.075 641	1.084 657	1.104 167	1.088 155
2	1.094 828	1.118 518	1.099 505	1.104 284
3	1.044 627	1.081 538	1.068 929	1.065 031
4	1.059 220	1.043 040	1.068 182	1.056 814
5	1.085 193	1.135 668	1.094 887	1.105 249
6	1.067 920	1.092 453	1.068 169	1.076 181
7	1.052 109	1.088 311	1.087 838	1.076 086
8	1.070 381	1.104 252	1.089 520	1.088 051
9	1.064 783	1.106 360	1.075 851	1.082 331
10	1.067 283	1.090 873	1.056 433	1.071 530
平均密度	1.068 199	1.094 567	1.081 348	1.081 371

2.2 鱼体重量分布预测精度检验

选取 10 个鱼体样本来构建鱼体重量—长度分布曲线,各样本最大误差段所对应的单位长度预测重量之和与实测重量之和的对比如图 3(a)所示,各鱼片样本的预测精度均达到 91%以上,表明以该模型作为定重切割的基础可信度较高。对比某样本的鱼体重量分布的实测曲

线与预测曲线[图 3(b)]可知,两者的趋势在前后段基本一致,鱼腹部位重量分布的实测值小于预测值,可能与鱼体密度的不均匀性有关,由于鱼腹脂肪含量较高,另外鱼体实际切割过程中鱼肉变形不可避免,因此实测结果也存在一定随机误差。结合表 2 可知,鱼体密度不但存在个体差异,鱼体各部位的密度也略有不同,而鱼体重量分布建模时假设鱼体密度一致,从而产生误差。

2.3 鱼体定量切割精度检验

选取 30 个鱼片样本,重量范围为 279.6~326.7 g,分成 3 组进行定重切段规划,各组的给定重量分别为 10, 15, 20 g,按试验方法获得的切段长度进行分切和测重,所得试验结果见图 4。当给定重量值为 10 g 时,鱼片各段的 $\delta_{\max}$ 值为 3.4%~6.6%,MAE 值为 0.117~0.259 g,平均值为 0.16 g;当给定重量值为 15 g 时,每个鱼片各段的 $\delta_{\max}$ 值为 4.40%~6.87%,MAE 值为 0.241~0.565 g,平均值为 0.38 g;当给定重量值为 20 g 时,鱼片各段的 $\delta_{\max}$ 值为 8.05%~10.33%,MAE 值为 0.81~1.37 g,平均值为 1.15 g。鱼片定重切段时,给定重量越大,切割误差越高。

选取 30 个鱼片样本,重量范围为 222.5~370.5 g,分成 3 组,分别按 10,15,20 段进行等重切段规划,根据计算得到的切段长度进行分切和测重,所得试验结果见图 5。

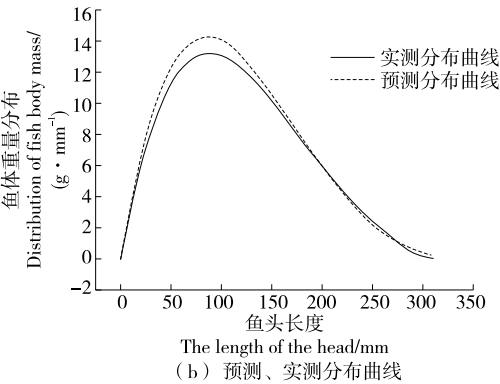
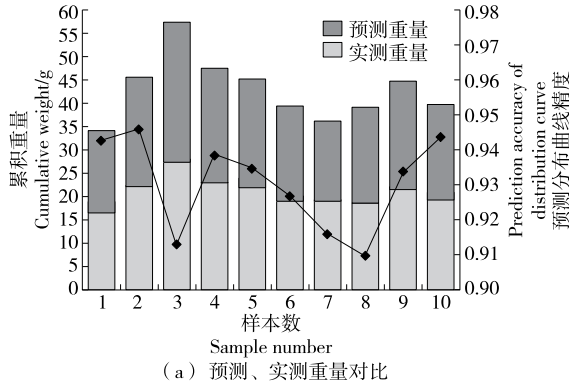


图 3 鱼体重量—长度分布模型

Figure 3 The weight-length distribution model of fish

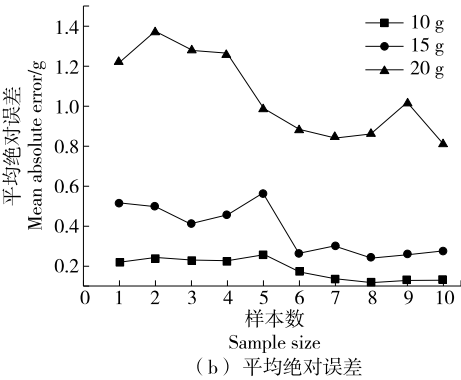
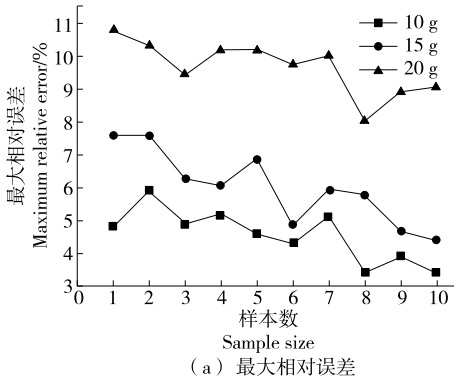


图 4 定重切段规划的误差统计

Figure 4 Statistics of sample error of constant weight cutting

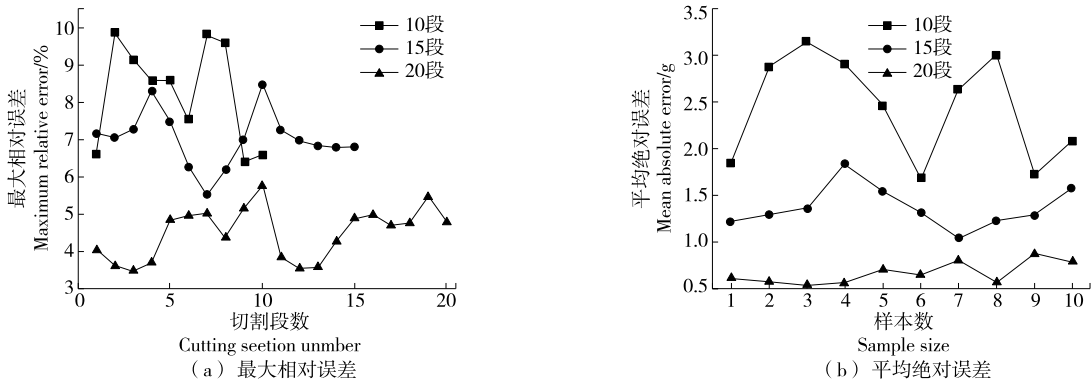


图5 等重切段规划的误差统计

Figure 5 Error statistics of each sample in equal weight cutting

当给定段数为20段时,各段的 $\delta_{\max}$ 值为3.47%~5.76%, MAE值为0.538~0.880 g,平均值为0.67 g;当给定段数为15段时,各段的 $\delta_{\max}$ 值为5.51%~8.48%, MAE值为1.04~1.84 g,平均值为1.345 g;当给定段数为10段时,各段的 $\delta_{\max}$ 值为6.41%~9.84%, MAE值为1.680~3.145 g,平均值为2.44 g。鱼片等重切段时,给定切割段数越多,切割精度越高。

3 结论

基于线激光扫描构建了鱼类原料输送过程中对鱼体轮廓的测量系统,并在此基础上提出了一种面向鱼类多样化切割需求的定量分切方法。基于鱼体轮廓点云数据和鱼体密度测量数据,建立了鱼体重量分布的数学模型,模型的预测精度达到91%以上。在鱼体重量分布预测的基础上,分别建立了鱼肉定重切段和等重切段的规划方法并通过实验验证了方法的有效性。试验结果表明,定重切段时,切割误差随给定重量的增大而增大;等重切段时,切割误差随给定段数的减少而增大。在实际生产的切段工艺参数设定区间内,根据用户需求,试验方法可满足定量切段加工精度要求。当系统给出准确度落刀位置后,采用手工切割方式在相应位置落刀,但由于肉质较为疏松,越往尾部切就就会导致鱼肉向前或向后靠拢,从而导致误差的出现。后续可采用机械式快速落刀切割以及增加样本数来进一步提升定量切段的精度。

参考文献

[1] LANG Ø YLI G L A, BJØRLYKHAUG E, LØVDAL T, et al. Experimental study of effectiveness of robotic cleaning for fish-processing plants[J]. Food Control, 2019, 100: 269-277.
[2] 李仁杰, 孟祥毅, 钟森森, 等. 基于水射流的典型淡水鱼类去鳞技术研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 101-104.
LI R J, MENG X Y, ZHONG S M, et al. Experimental study on descaling technology of typical freshwater fish based on water jet[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 101-104.
[3] 夏伟伟, 孟庆国, 张畅原, 等. 淡水鱼往复式去脏装置设计与工

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.
[4] 李洪斌, 赵万胜, 张全忠, 等. 食品智能定量切割系统: CN106584540B[P]. 2018-04-20.
LI H B, ZHAO W S, ZHANG Q Z, et al. Food intelligent quantitative cutting system: CN106584540B[P]. 2018-04-20.
[5] 王锦江, 陈志, 杨学军, 等. 制种玉米父本整秆切除铺放机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(2): 104-109.
WANG J J, CHEN Z, YANG X J, et al. Design and experiment on seed corn whole stalk cutting-placemeting machine of staminate plant[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(2): 104-109.
[6] 参木友, 曲广鹏, 普布次仁, 等. 一种牦牛肉定长分割装置: CN210299276U[P]. 2020-04-14.
Shenmuyou, Quguangpeng, Pubuciren, et al. A fixed length cutting device for yak beef: CN210299276U[P]. 2020-04-14.
[7] 王璟, 李刚. 食物定重切割方法及食物切割机: CN102729289B[P]. 2015-07-22.
WANG J, LI G. Food fixed-weight cutting method and Food cutting machine: CN102729289A[P]. 2015-07-22.
[8] 刘孔雀, 余仁爱. 一种铝型材加工用定长切割装置: CN212976983U[P]. 2021-04-16.
LIU K Q, YU R A. A fixed-length cutting device for aluminum profile processing: CN212976983U[P]. 2021-04-16.
[9] 刘华, 钟天秀. 植物激素在大叶落地生根胎生苗无性繁殖过程中的作用[J]. 青海草业, 2021, 30(4): 23-29.
LIU H, ZHONG T X. The role of phytohormones in asexual propagation in kalanchoe daigremontiana leaves[J]. Qinghai Prataculture, 2021, 30(4): 23-29.
[10] 罗艳. 基于机器视觉技术的对虾规格检测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 5.
LUO Y. Research on shrimp specification detection method based on machine vision technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013: 5.
[11] JING H, LI D, DUAN Q, et al. Fish species classification by color,

- texture and multi-class support vector machine using computer vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 88: 133-140.
- [12] 万鹏, 赵峻威, 朱明, 等. 基于改进 Res Net50 模型的大宗淡水鱼种类识别方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(12): 159-168.
WAN P, ZHAO J W, ZHU M, et al. Freshwater fish species identification method based on improved ResNet50 model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(12): 159-168.
- [13] MONKMAN G G, HYDER K, KAISER M J, et al. Using machine vision to estimate fish length from images using regional convolutional neural networks[J]. Methods in Ecology and Evolution, 2019, 10(12): 2 045-2 056.
- [14] DAMANHURI N S, ZAMRI M, OTHMAN N, et al. An automated length measurement system for tilapia fish based on image processing technique[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1 088: 012049.
- [15] VIAZZI S, HOESTENBERGHE S V, GODDEERISB M, et al. Automatic mass estimation of Jade perch *Scortum barcoo* by computer vision[J]. Aquacultural Engineering, 2015, 6: 42-48.
- [16] MOHAMMADMEHDI S, CISAR P. Automated within tank fish mass estimation using infrared reflection system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 150: 484-492.
- [17] SHAN J, WANG X, RUSSEL M, et al. Comparisons of fish morphology for fresh and frozen-thawed crucian carp quality assessment by hyperspectral imaging technology [J]. Food Analytical Methods, 2018, 11: 1 701-1 710.
- [18] BJORLYKHAUG E, EGELAND O. Vision system for quality assessment of robotic cleaning of fish processing plants using CNN[J]. IEEE Access, 2019, 7: 71 675-71 685.
- [19] 刘同海, 滕光辉, 张盛南, 等. 基于点云数据的猪体曲面三维重建与应用[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 291-295.
LIU T H, TENG G H, ZHANG S N, et al. Reconstruction and application of 3D pig body model based on point cloud data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 291-295.
- [20] 吴婧, 汤晓华, 杨泗苹, 等. 基于激光点云数据的糙米表面三维模型重建[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 19-22, 28.
WU J, TANG X H, YANG S P, et al. Reconstruction of surface 3D model of brown rice based on point cloud data[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 19-22, 28.
- [21] EDEN B, LIU Y, HOOV S, et al. Online geometry monitoring during directed energy deposition additive manufacturing using laser line scanning[J]. Precision Engineering, 2021, 73: 104-114.
- [22] LIU H C, DU W X, YAZDANI N, et al. A dissection and enhancement technique for combined damage characterisation in composite laminates using laser-line scanning thermography [J]. Composite Structures, 2021, 271: 114168.
- [23] 徐子向. 一种鱼类去中骨三枚开片机: CN209436158U[P]. 2019-09-27.
XU Z X. A kind of fillet opening machine for removing three pieces of middle bone of fish: CN209436158U[P]. 2019-09-27.
- [24] 许金鑫, 由强. 任意阶次多项式最小二乘拟合不确定度计算方法与最佳拟合阶次分析[J]. 计量学报, 2020, 41(3): 388-392.
XU J X, YOU Q. Uncertainty calculation for arbitrary order polynomial least-square fitting and analysis of the best fitting order[J]. Acta Metrologica Sinica, 2020, 41(3): 388-392.
- [25] SEHAD M, AMEUR S. A multilayer perceptron and multiclass support vector machine based high accuracy technique for daily rainfall estimation from MSG SEVIRI data[J]. Advances in Space Research, 2020, 65(4): 1 250-1 262.
- [26] 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.
HU L, WANG F M, LU M S, et al. Quality changes during storage at different temperatures and establishment of shelf-life model of vacuum packaged chicken paste[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 132-138.
-
- (上接第 54 页)
- [16] 李宗芮, 张文皓, 张帅, 等. 超声水提法-ICP-MS 检测配方乳粉中碘的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(12): 3 898-3 902.
LI Z R, ZHANG W H, ZHANG S, et al. Determination of iodine in powdered formulas by inductively coupled plasma-mass spectrometry-the extraction with water by ultrasonic[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2014, 5(12): 3 898-3 902.
- [17] 刘列钧, 李秀维, 李淑华, 等. 碱灰化砷铈催化分光光度法测定鲜奶及奶粉中碘含量[J]. 中国地方病防治杂志, 2006(2): 79-81.
LIU L J, LI X W, LI S H, et al. Determination of iodine content in fresh milk and milk powder by alkali ashing arsenic cerium catalytic spectrophotometry[J]. Chinese Journal of Endemic Disease Prevention and Control, 2006(2): 79-81.
- [18] KIMMO L, MATTI N, PAAVO P. Development of an efficient acid digestion procedure utilizing high-pressure asher technique for the determination of iodine and metallic elements in milk powder[J]. Food Analytical Methods, 2014, 7(5): 1 103-1 108.
- [19] 袁辉, 严娅. ICP-MS 测定婴幼儿乳粉中碘含量不确定度的评定[J]. 广州化工, 2021, 49(19): 99-100, 106.
YUAN H, YAN Y. Evaluation of uncertainty of determination of iodine content in infant milk powder by ICP-MS[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2021, 49(19): 99-100, 106.
- [20] 李姗, 何霜, 李吉龙, 等. KOH 快速消解/ICP-MS 测定婴幼儿乳粉中总碘含量[J]. 分析测试学报, 2016, 35(7): 864-868.
LI S, HE S, LI J L, et al. Determination of total iodine in infant formula by KOH digestion and Inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2016, 35(7): 864-868.