

基于形态学特征的对虾完整性识别方法构建

洪 辰¹, 刘子豪^{1*}, 汪许倩¹, 高 乐¹, 郑震宇¹, 徐志玲², 张 俊³

(1. 嘉兴学院信息科学与工程学院, 嘉兴 314001; 2. 中国计量大学质量与安全工程学院, 杭州 310018;
3. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

摘 要: 目的 针对对虾加工过程中缺损对虾混入完整对虾从而降低对虾产品外观品质的问题, 构建基于形态学特征的对虾完整性识别方法。**方法** 首先, 使用灰度差异法处理对虾图像, 经过连通域、中值滤波等形态学操作后, 得到较为完整的感兴趣区域图像, 再对其采取二值化、轮廓化等操作; 然后, 对轮廓提取骨架线, 并求轮廓内最大内切圆直径以得到长宽比特征, 并求其圆度特征; 最后, 将以上 2 个特征作为判别对虾完整性的核心指标, 构建融合特征判别算法。**结果** 本研究所提算法应用于 1063 幅生鲜虾测试集图像中识别准确率达到 99.25%, 相比于传统曲率法, 识别准确率提升了 6.48%, 识别时间降低了 1598.6 ms。**结论** 该方法具有较大优势和应用前景, 为开发大规模南美白对虾在线品质的无损检测装备提供关键技术。

关键词: 南美白对虾; 完整性识别; 形态学特征; 机器视觉; 图像处理

Construction of completeness recognition method for shrimp (*Litopenaeus vannamei*) based on morphological characteristics

HONG Chen¹, LIU Zi-Hao^{1*}, WANG Xu-Qian¹, GAO Le¹, ZHENG Zhen-Yu¹, XU Zhi-Ling², ZHANG Jun³

(1. College of Information Science and Engineering, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China; 2. College of Quality & Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 3. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

ABSTRACT: Objective To construct a completeness recognition method for shrimp (*Litopenaeus vannamei*) based on morphological characteristics to solve the problem of appearance quality deterioration by mixing the incomplete shrimp into the sound clustered shrimp during the shrimp production processing. **Methods** Firstly, the shrimp image was processed by background grayscale difference method, the region of interest (ROI) of shrimp image were obtain after the morphological operation, median filtering, double-value, contouring and other operations; then, the skeleton line was extracted from the contour, and the maximum inscribed circle diameter in the contour was calculated to obtain the length width ratio of shrimp and its roundness characteristics; finally, taking the above 2 features as the core indexes to judge the integrity of shrimp, the fusion feature discrimination algorithm was

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGG21F030013、LGG20F010010、LGG20F030006)、嘉兴市公益计划项目(2020AY10009、2018AY11008)、嘉兴学院科研启动基金项目(CD70519085)、浙江省大学生科技创新训练计划项目(2021R417017)、嘉兴学院大学生 SRT 科研创新项目(2021-2022)

Fund: Supported by the Zhejiang Public Welfare Technology Research Project (NLGG21F030013, LGG20F010010, LGG20F030006), the Jiaxing City Public Welfare Technology Application Research Project of Jiaxing Science and Technology Bureau (2020AY10009, 2018AY11008), the Scientific Research Foundation of Jiaxing University (CD70519085), the Zhejiang University Students' Scientific and Technological Innovation Training Program (2021R417017), and the SRT Scientific Research and Innovation Project for College Students of Jiaxing University (2021-2022)

*通信作者: 刘子豪, 博士, 讲师, 主要研究方向为人工智能与图像处理。E-mail: lzh@zjxu.edu.cn

*Corresponding author: LIU Zi-Hao, Ph.D, Lecturer, College of Information Science and Engineering, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China. E-mail: lzh@zjxu.edu.cn

constructed. **Results** The algorithm established in this study was applied to 1063 test set images of fresh shrimp and its recognition accuracy reached 99.25%, the recognition accuracy was improved by 6.48%, and the recognition time was reduced by 1598.6 ms compared with the traditional curvature method. **Conclusion** The proposed method has great advantages and application prospects, which providing the key technology for the development of nondestructive testing equipment for large-scale online quality of *Litopenaeus vannamei*.

KEY WORDS: shrimp (*Litopenaeus vannamei*); completeness recognition; morphological characteristics; machine vision; image processing

0 引 言

对虾产业是我国水产品产业的重要组成部分,也是我国水产行业的支柱性产业。据统计,我国对虾 2019 年产量高达 460.2 万 t, 相比于 2018 年的 409 万 t, 年产量涨幅为 12.5%^[1]。南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*)隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、对虾科(Penaeidae)、对虾属(*Penaeus*), 是迄今世界上养殖产量最高的虾种之一^[2-3]。近年来, 随着人们对高品质对虾的需求量持续增高^[4], 市场规模不断扩大的同时, 准入标准也变得更为严苛。对虾营养丰富, 但较易腐烂变质^[5], 对虾产品中常伴随着染病、缺损虾等杂质, 这类杂质因部分已经失去活性, 可在短时间内被肉毒杆菌等细菌侵占, 释放大量的硫化氢、组胺等有害物质, 极大地对正常虾的内外品质造成不可逆的破坏, 因此在对虾养殖、加工、流通等各个环节需加强监管和控制, 保证出厂的对虾产品符合标准要求^[6]。

缺损虾是指形态上与正常虾不一致的虾, 通常是在捕捞、运输过程中由于虾体之间相互碰撞或挤压造成的, 或由原料虾在加工过程中受到机械损伤引起的, 在虾的加工过程中混入缺损虾会降低对虾产品品质, 因此需将这类次品虾剔除。传统对虾完整性检测主要是通过人工感官评定来完成^[7], 挑拣的准确性和效率受工人因素影响, 而且还存在着检测精度低、智能程度低、工作效率低等局限性^[8]。LEE 等^[9]选用蓝色背景利用大津法将去头虾从背景中分离, 而后在轮廓分析法(turn angle distribution analysis, TADA)^[10]轮廓分析法的基础上结合快速曲线相似度评价方法(turn angle cross-correlation, TAC)^[11]可将完整虾和破损虾识别出来, 完整虾识别精度达到 93.7%, 破损虾识别精度达到 94.2%; LIU 等^[12]提出了基于改进的 Majority 算法的分类器融合规则, 并将该规则应用在生鲜虾中的缺陷虾、不完整虾和病虾的识别中, 可以得到 91.53% 的分类精度。以上研究均能实现对虾的高精度识别, 在此基础上进一步降低每只对虾的识别时间, 是本研究所要解决的关键性问题。

本研究以单体南美白对虾为研究对象, 依靠机器视觉技术提取对虾形态学特征, 实现对虾完整性检测, 所使用对虾形态特征包括体长、头胸甲长、头胸甲宽、胸高等特征^[13-14]。其中, 前 3 种特征的使用率最高, 基本能

反映对虾体质量和体形特征^[15]。在判定对虾完整性的过程中, 机器可自动提取对虾形态特征, 不会与对虾直接接触, 避免了对虾类产品的二次污染, 从而实现在线无接触、无损检测, 为精准、快速识别对虾类产品的完整性提供技术手段。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设备

试验所选取的新鲜生鲜对虾在 2021 年 8 月购置于嘉兴秀洲区大润发超市, 对虾在失去活性后进行图像获取, 对虾样本图像如图 1, 完整对虾虾体完整, 体态狭长; 缺损对虾一般以缺头、缺尾虾为主, 体长较短。

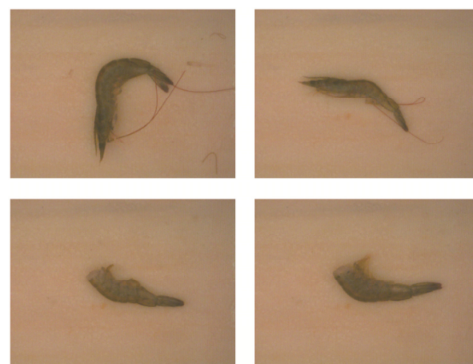


图 1 完整对虾与缺损对虾样本图像

Fig.1 Pictures of sound and incomplete shrimp

本研究需要构建机器视觉系统来获取对虾图像, 然后对图像进行特征提取与分析, 从而对虾体完整性进行判别, 因此, 构建标准机器视觉系统是获取分辨率高、表面清晰的对虾图像的首要条件。本研究的对虾图像采集装置主要由 CCD 工业相机与 LED 照明光源构成, 对虾图像采集系统采用德国映美精 30 万像素彩色工业相机, 型号为 DFK-23G618 (镜头型号: VT-LEM0618-MP3), 选择将白色 LED 环状光源作为图像采集系统的照明光源。

经过以上图像采集装置得到单只生鲜虾训练集图像共 1270 幅, 单只生鲜虾测试集图像共 1063 幅。其中单只生鲜虾训练集图像包括完整生鲜虾图像 959 幅, 缺损生鲜

虾图像 311 幅;单只生鲜虾测试集图像包括完整生鲜虾图像 674 幅,缺损生鲜虾图像 389 幅。

本研究为了实现对虾在线检测,开发了一套基于机器视觉技术的南美白对虾完整性检测软件,操作人员只需要在软件界面上点击指定按钮即可实现检测,软件平台为 Visual Studio 2015, Windows 10 版本 64 位操作系统;硬件平台为 DELL G3 3590 笔记本电脑(美国 Dell 公司), Intel(R) Core(TM) i5-9300H CPU@ 2.40GHz 处理器,内存 8 GB。如图 2 是以微软基础类库(Microsoft Foundation Classes, MFC)所搭建的用户终端界面。

1.2 对虾图像预处理

本研究在前期通过图像采集装置获取了大量生鲜虾的原始图像,其中包括完整对虾图像与缺损对虾图像,分辨率均为 640×480 dpi。通过机器视觉技术进行对虾完整性检测的前提是图像预处理。

1.2.1 提取目标感兴趣区域的背景灰度差异法

本研究使用的是基于特定场景下的目标分割方法^[16],获取的图像均是基于对虾在静止状态下呈现的图像,该对虾目标图像的后期提取主要受背景以及图像分辨率的影响。因此,本研究采用了背景灰度差异法^[17],利用前景与背景的对比度差异实现对目标与背景的分割。在每一幅对虾图像中,对虾目标所占面积必定远小于背景面积,因此对虾所占区域中对应像素点的个数也远小于背景像素点的个数。而在静态图像中,对虾目标图像的提取是受背景及图像分辨率影响的,在灰度直方图中,若对虾目标图像的

峰值与背景峰值存在较大差异,只需求出背景分割阈值,将灰度图像中大于阈值的像素值全部置为零,其余小于阈值的对应像素点就是目标对虾,即感兴趣区域。

1.2.2 感兴趣区域的图像处理技术

经过处理后感兴趣区域依然会存在图像不完整的情况,这是由于刚打捞上岸的对虾表面覆盖的水分在相机成像下存在高光区,导致其表面部分像素区域的失真。对虾目标的整体部分在人肉眼中能够被轻易识别,但是对虾图像边缘及其轮廓内部存在的各种断断续续小缺口导致图像不连续,在机器中难以分辨。为使得对虾目标达到适应人眼的感觉,本研究采用了计算机图形学中的连通域处理技术^[18]。图像在经过连通域技术处理后,其边缘仍然存在不平滑的情况,为此采取图像处理技术中的中值滤波的方法,中值滤波是一种非线性平滑技术,其作为消除图像噪声最常见的手段之一,对脉冲噪声有良好的滤除作用,特别是在滤除噪声的同时,能够保护信号的边缘,使之不被模糊,这些优良特性是线性滤波方法所不具有的^[19]。经过以上处理步骤能够得到适应人肉眼感觉的感兴趣区域对虾图像,再对其采取二值化、轮廓化操作,图 3 展示了图像预处理的主要过程。

1.3 对虾完整性判别

我国颁布的 NY 5058—2006《无公害食品 海水虾》中,关于鲜对虾感官质量指标中明确规定:虾体要完整,联结膜可有一处破裂,但破裂处虾肉只能有轻微裂口。因此,如何剔除完整虾中的部分不完整虾显得尤为重要。不完整虾与完整虾存在差异,主要体现在形状特征上,分为



图 2 用户终端界面
Fig.2 User terminal interface

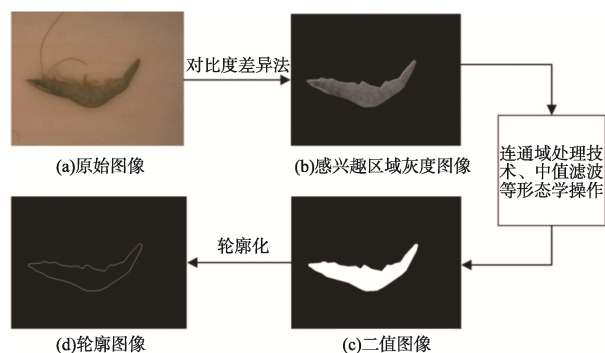


图 3 图像预处理的主要过程

Fig.3 Main processes of image preprocessing

相对特征与绝对特征^[20]。绝对特征是指通过公式计算直接获取的特征, 对虾的绝对特征有感兴趣区域灰度值之和、面积、周长、骨架线长度等, 这些特征作为具体数值能够运用公式计算得出; 而相对特征则是以一种相对的方式体现, 例如对虾眼区域面积占虾体面积的比值、对虾黑变区域占比等, 通常以比值的形式体现。绝对特征适用于样本在形状、颜色、尺寸大小方面变化较小的数据集, 而相对特征适用于样本变化较大的数据集。由于数据集中对虾的形状、尺寸变化较大, 本研究中对虾完整性的判别采用相对特征。此前已有学者提出了曲率判别法、圆弧判别法^[20]等对虾完整性的判别方法, 对虾的特征值也有众多定义, 例如 Wzernike 矩、复杂度、占有率等特征值。本研究基于众多学者前期研究成果^[9-12]提出了基于形态学特征的对虾完整性识别方法。

1.3.1 对虾圆度特征

圆度是指区域面接近理论圆的程度。一般情况下, 相较于缺损对虾, 完整对虾一般呈现长而扁的形态特点, 但它们虾体宽度区别较小。完整对虾与缺损对虾的圆度存在较大差异, 若目标对虾的圆度数值越接近于 1, 那么其为缺损对虾的可能性就越大。目标圆度数值按照公式(1)计算:

$$e = \frac{4\pi \times \text{area}}{\text{per}^2} \quad (1)$$

其中, e 表示目标圆度; per 表示目标周长, 单位为像素; area 表示目标面积, 单位为像素。

1.3.2 对虾体长宽比特征

本研究参考 ZHANG 等^[21]的细化算法, 首先, 提取对虾轮廓骨架线, 并在实际算法中设定骨架线的宽度为一个像素点; 然后, 构造函数遍历骨架线像素点的个数, 即为所求对虾长度 l ; 最后, 将对虾骨架线作为中轴线, 骨架线上的任意点到达两侧轮廓的最大距离之和作为对虾体宽, 将长宽比作为一个相对特征值, 以此判断对虾是否完整。由于虾体弯曲并不对称, 故将对虾轮廓内部最大内切圆直径近似为对虾宽度, 但在开源计算机视觉库(OPENCV)中并没有直接通过轮廓来获取轮廓内部最大内切圆的应用程序编程接口(application programming interface, API), 因此,

本研究构造对轮廓求最大内切圆的算法, 该算法遍历目标对虾轮廓内所有点, 计算轮廓内部各点到最近轮廓点的距离, 设最大距离为 r , 由于只有圆心到最近轮廓点的距离才会最大, 所以轮廓内最大内切圆的圆心也得以确定。 r 代表最大内切圆的半径, 内切圆的直径 d 即近似为目标对虾体宽。在对大量生鲜对虾图像数据集的训练后, 得出判别对虾是否完整的长宽比阈值。由于缺损对虾的体长与完整对虾体长相差较大, 体宽相差较小, 因此在实际检测过程中, 若对虾长宽比小于该阈值, 则判定为缺损对虾, 反之则为完整对虾。对虾长宽比特征值按照公式(2)计算:

$$a = \frac{l}{2r} \quad (2)$$

其中, a 表示目标对虾长宽比; l 表示对虾体长, 单位为像素; r 表示对虾最大内切圆半径, 单位为像素。

完整对虾与缺损对虾长宽比特征主要获取过程如图 4 所示。本研究对虾完整性检测的总体流程如图 5 所示。

2 结果与分析

2.1 长宽比和圆度特征结果

本研究对单只生鲜虾图像训练集进行 3 组平行试验及总体试验, 分别得出两种对虾特征值, 试验结果见表 1。对虾在实际人工测量过程中大多呈现弯曲姿态, 难以测量其尺寸, 但通过图像测量技术与人工测量方法的比较分析^[22], 也有效证实了可利用图像进行对虾尺寸测量的可行性。完整对虾一般呈现长而扁的形态特点, 缺损对虾由于缺头或缺尾, 体长较短, 但其腹节宽度区别较小, 因此缺损对虾相较于完整对虾长宽比较小、形状上更近似于圆。由表 1 可知, 完整生鲜虾与缺损生鲜虾的 2 种特征区别较大, 均能够作为对虾完整性的判别标准。

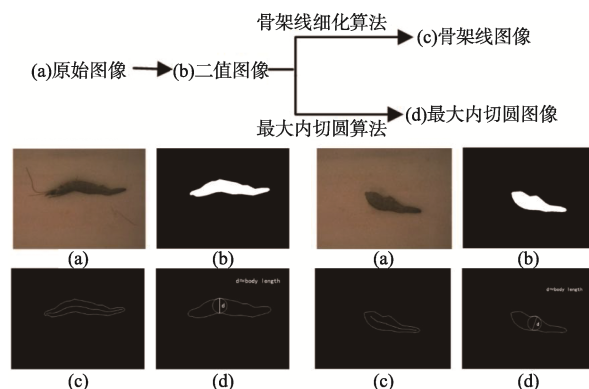


图 4 对虾长宽比特征值获取过程

Fig.4 Process of obtaining the characteristic value of length to width ratio of shrimp

结合表 1 试验结果, 可分别在 2 种对虾特征对应平均值附近选取不同数值作为 2 种特征试验的初始阈值。

2.2 生鲜虾测试集试验结果

生鲜虾测试集的试验结果，也即设定不同长宽比阈值对应的测试结果，见表 2。早期对虾已有定义的长宽比特征值，但其实质上是最小外接矩形的长与宽的比值，受对虾弯曲的程度影响较大，并非真实长宽比。现如今，水产的体型的测量基本上以体长、体重特征值等为主，涉及体宽的测量研究较少^[23]。本研究将对虾长宽比特征值作为判别对虾是否完整的条件，长宽比特征值可由公式(2)得出，若对虾测定的长宽比大于该特征值设定的阈值即为完整对虾，反之为缺损对虾。故对该测试集设定不同的初始阈值，分别得到完整对虾识别率、缺损对虾识别率、平均识别率、平均耗时等。平均识别率表示能够判别测试集所有对虾是否完整的准确率，平均时间表示识别单只对虾所耗费的时间，其中包括读取对虾图像时间、背景分割算法的时间、图像二值化、提取图像轮廓及骨架线的时间、最大内切圆算法的时间等形态学操作消耗的时间总和。

表 2 显示选用长宽比阈值来判别生鲜虾完整性的平均识别准确率均高于 97%，且平均时间均不超过 270 ms。对虾的头胸甲与腹部的比值约为 1/3，因此缺头虾一般长度近似于完整对虾的 3/4，而缺尾虾则有可能更小。结合以上试验过程，并优先保证完整对虾识别率，可以得出长宽比最优阈值为 4.15，在该阈值下的平均识别准确率高达 98.49%，平

均识别速率达到 262 ms/只，将 4.15 作为最终选择的阈值。

表 3 则将圆度特征值作为判断对虾是否完整的条件，若对虾测定的圆度小于该特征值设定的阈值即为完整对虾，反之为缺损对虾。

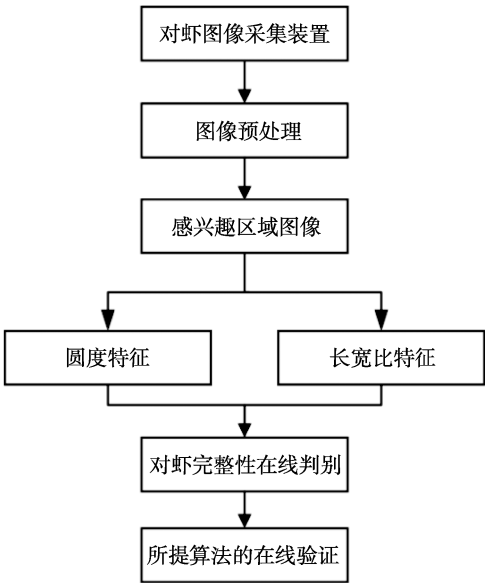


图 5 对虾完整性检测的总体流程
Fig.5 Overall process of shrimp integrity detection

表 1 完整生鲜虾与缺损生鲜虾训练集 2 种特征值相应结果(n=3)
Table 1 Corresponding average values of the 2 kinds of characteristic values of the training sets of intact fresh and incomplete fresh shrimp (n=3)

实验批次	完整对虾					缺损对虾				
	数目	长宽比平均值	标准差	圆度平均值	标准差	数目	长宽比平均值	标准差	圆度平均值	标准差
1	200	5.80	0.70	0.31	0.03	60	2.60	0.67	0.53	0.13
2	300	5.80	0.68	0.31	0.03	100	2.69	0.61	0.52	0.13
3	459	5.87	0.82	0.31	0.03	151	2.70	0.71	0.52	0.12
4	959	5.83	0.75	0.31	0.03	311	2.67	0.67	0.53	0.12

表 2 生鲜虾测试集的试验结果(一)
Table 2 Test results of the fresh shrimp test set (1)

长宽比阈值	完整虾识别率/%	缺损虾识别率/%	平均识别率/%	平均耗时/ms
4.60	96.14	99.49	97.37	265
4.55	96.88	99.22	97.74	261
4.50	97.18	99.22	97.93	262
4.45	97.48	99.22	98.12	261
4.40	97.78	98.71	98.12	261
4.35	97.92	98.71	98.21	261
4.30	98.37	98.46	98.40	261
4.25	98.52	97.94	98.31	261
4.20	98.81	97.94	98.49	262
4.15	98.96	97.69	98.49	262
4.10	98.96	96.92	98.21	261
4.05	99.11	96.92	98.31	265

表 3 生鲜虾测试集试验结果(二)
Table 3 Test results of the fresh shrimp test set (2)

圆度阈值	完整虾识别率/%	缺损虾识别率/%	平均识别率/%	平均耗时/ms
0.42	99.70	83.29	93.69	45
0.41	99.70	87.40	95.20	45
0.40	99.41	91.26	96.43	45
0.39	99.11	94.86	97.55	45
0.38	98.81	97.17	98.21	45
0.37	98.66	98.46	98.59	45
0.36	98.07	98.97	98.40	45
0.35	97.40	99.23	98.07	45
0.34	95.85	99.23	97.09	45
0.33	91.54	99.23	94.35	45
0.42	99.70	83.29	93.69	45
0.41	99.70	87.40	95.20	45

表 3 显示试验中所选用圆度阈值判别生鲜虾完整性的平均识别准确率均高于 93%, 平均耗时均为 45 ms。由于对虾圆度的计算只需要进行图像读取、背景分割、图像二值化、提取轮廓等操作, 故相比于长宽比特征值的获取过程平均耗时大大减少。通过设定圆度阈值试验, 可以得出生鲜虾的圆度最优阈值为 0.37, 其对生鲜虾完整性的识别准确率达 98.59%, 平均识别速率达到 45 ms/只, 故将 0.37 作为最终选择的阈值。

2.3 两种特征值结合判别法构建

长宽比特征法、圆度特征法在选取最优阈值情况下与曲率法、圆弧法、绝对面积法^[20]的对比结果见表 4, 相比于曲率法与圆弧法, 本研究两种方法的平均识别准确率分别达到了 98.49%和 98.59%, 在保证识别准确率的同时, 平均耗时也得到极大的改进。

由于长宽比特征法、圆度特征法都是以单一特征值作为判别对虾完整性的依据, 识别准确率以及平均耗时均具有较大优势。为进一步提高识别准确率, 本研究通过融合以上两种特征, 将对虾的长宽比特征作为第一判别条件, 圆度作为第二判别条件, 对应阈值均为上述试验中得出的最优阈值。通过对生鲜虾测试集的试验, 若样本被第一判别条件判别为缺损对虾, 则进一步采取第二判别条件判别。试验结果显示, 通过融合 2 种特征值的方法对完整生鲜虾的识别准确率达到 99.26%, 对缺损生鲜虾的识别准确率达到 99.23%, 平均识别准确率达到 99.25%, 相较于两种单一特征值判别法准确率得到了提高, 试验方法及相应结果如表 5。

表 4 圆度、长宽比特征法与传统方法对比
Table 4 Roundness and aspect ratio feature method proposed in this paper compared with traditional methods

方法类别	平均识别率/%	平均耗时/ms
圆度特征法	98.59*	45*
长宽比特征法	98.50	262
曲率法	92.77	1861
圆弧法	89.78	1564
绝对面积法	65.30	231

注: *表示当前表格中的最优数据, 下同。

表 5 融合特征方法与单一特征方法对比
Table 5 Comparison between fusion feature method and single feature method

方法类别	平均识别率/%	平均耗时/ms
两种特征值结合的方法	99.25*	262.4
圆度特征法	98.59	45*
长宽比特征法	98.50	262

综上, 长宽比特征法、圆度特征法或是融合特征方法都能够很有效地运用于对虾完整虾检测, 且在图像处理效率上也有良好的表现, 不论是识别精度或是运行效率都能满足实际检测需求。但要获取较高的识别准确率, 往往平均耗时会相应上升, 所以在两者之间要根据实际生产需求, 使各方利益达到最大化。

3 结 论

本研究针对传统的对虾人工挑拣方式存在主观性强、准确率低的问题,提出了一种基于形态学特征算法的对虾完整性检测方法,首先通过特定环境下的背景分割方法分割对虾图像,并经过连通域技术、中值滤波方法等形态学操作得到感兴趣区域对虾二值图像、轮廓图像,再通过骨架线细化算法与最大内切圆算法得到单只对虾长宽特征值,并使用圆度公式得到对虾圆度特征值。通过以上试验,可得出以下结论:

(1)本研究提出了两种基于特征值的对虾完整性判别方法:长宽比特征和圆度特征,相比于曲率法、圆弧法,平均识别准确率与运行效率均有提高。长宽比特征法的平均识别准确率达到98.49%,圆度特征法达到98.59%,而后的平均判别时间比前者快了217 ms,可知后者方法较优。

(2)针对对虾可能出现腹部弯曲程度大的情况,本研究在原方法基础上融合两种特征值进行对虾完整性检测试验得出平均识别准确率达到99.25%,较单一特征值判别方法更为精准,平均识别时间达到262.4 ms,均满足实际检测需求。

(3)本研究基于形态学特征的对虾完整性检测方法实现了在线无接触、无损检测,避免了对虾类产品的二次污染,并且在实际应用中验证了该方法的有效性,在对缺损虾的识别和分拣过程中,相比于人工挑拣以及传统检测方法更具可行性,在未来的虾类产品加工业领域,具有较高的应用价值和经济价值。

(4)本研究所建立的方法也存在一定局限性,若完整对虾蜷缩在一起,易将其误判为缺损虾。该问题可通过增加对虾形态特征参数迭代进一步解决,从而提高相应识别率,但识别时间就会相应上升,所以在两者之间需根据实际情况进行选择,使得各方利益最大化。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
Fishery administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fishery Statistics Yearbook 2020 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [2] 徐姝, 刘冬梅, 王勇, 等. 蒸煮模式对南美白对虾食用品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 136–142.
XU S, LIU DM, WANG Y, *et al.* Effects of cooking methods on the eating quality of *Penaeus vannamei* [J]. Food Sci, 2021, 42(3): 136–142.
- [3] 张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 等. 南美白对虾营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2013, 13(08): 254–260.
ZHANG GJ, HAN LL, SUN JF, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in *Penaeus vannamei* [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(8): 254–260.
- [4] 李爱国, 陈红安, 虞红飞, 等. 南美白对虾碎小虾仁重组冷冻调理食品开发关键技术研究[Z]. 浙江省舟山市泓辰海洋食品有限公司, 2015-05-22.
LI AIG, CHEN HAN, YU HF, *et al.* Study on the key technology of reconstituted frozen prepared food of *Penaeus vannamei* [Z]. Zhejiang Zhoushan Hongchen Ocean Food Co., Ltd., 2015-05-22.
- [5] 黄卉, 李来好, 杨贤庆, 等. 对虾产品质量分级要素及评价技术[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1371–1376.
HUANG H, LI LH, YANG XQ, *et al.* Quality grading factors and evaluation technology of prawn [J]. J Fish Sci China, 2010, 17(6): 1371–1376.
- [6] 章建设, 陈玉玲, 谢主兰. 对虾产品质量安全标准要求[J]. 食品安全导刊, 2015, (15): 154–156.
ZHANG JS, CHEN YL, XIE ZL. Quality and safety standard requirements for prawn products [J]. Chin Food Saf Magaz, 2015, (15): 154–156.
- [7] 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 W. Study of on-line identification and elimination system for incomplete shrimp based on machine vision technology [D]. Zhengjiang: Zhejiang University, 2018.
- [8] 贾磊, 陈俊超. 机器视觉的水产食品外观品质检测系统[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 266–268.
JIA L, CHEN JC. Machine vision inspection system for appearance quality of aquatic food [J]. Food Ind, 2021, 42(5): 266–268.
- [9] LEE DJ, XIONG GM, LANE RM, *et al.* An efficient shape analysis method for shrimp quality evaluation [C]. 2012 12th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 2012.
- [10] TOMASZ G, SMOLINSKI G, ABOUL-ELLA H. Applications of computational intelligence in biology [M]. Heidelberg: Springer, 2008.
- [11] GUANGMING X, DAH-JYE L, KEVIN R, *et al.* Shape similarity measure using turn angle cross-correlation for oyster quality evaluation-science direct [J]. J Food Eng, 2010, 100(1): 178–186.
- [12] LIU ZH, CHENG F, HONG HM. Identification of impurities in fresh shrimp using improved majority scheme-based classifier [J]. Food Anal Methods, 2016, 9(11): 3133–3142.
- [13] 刘小林, 吴长功, 张志怀. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 858–862.
LIU XL, WU CG, ZHANG ZH. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei* [J]. Acta Ecol Sin, 2004, 24(4): 858–862.
- [14] 杨长明, 何铜, 刘小林, 等. 凡纳对虾形态性状对体质量的逐步回归分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 15–20.
YANG CM, HE T, LIU XL, *et al.* Stepwise regression analysis of morphometric attributes on body weight of *Penaeus vannamei* [J]. Acta Agric Boreali-occidentalis Sin, 2011, 20(2): 15–20.
- [15] 金烨楠. 基于对虾形态学与行为学参数的育种数据智能采集技术及应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
JIN YN. Breeding data intelligent acquisition technology based on morphological and behavioral parameters of prawns and its application [D]. Xiamen: Xiamen University, 2018.
- [16] 王秋萍, 张志祥, 朱旭芳. 图像分割方法综述[J]. 信息记录材料, 2019, 20(7): 12–14.
WANG QP, ZHANG ZX, ZHU XF. Overview of image segmentation

- methods [J]. Inf Rec Mater, 2019, 20(7): 12–14.
- [17] 余博文. 数字图像阈值分割研究与应用[J]. 科学技术创新, 2021, (19): 91–92.
- YU BW. Research and application of digital image threshold segmentation [J]. Sci Technol Innov, 2021, (19): 91–92.
- [18] 王羿翔. 激光标刻扫描路径生成算法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- WANG YX. Research on laser marking scan path generation algorithm [D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.
- [19] 燕红文, 邓雪峰. 中值滤波在数字图像去噪中的应用[J]. 计算机时代, 2020, (2): 47–49.
- YAN HW, DENG XF. Application of median filter in digital image denoising [J]. Comput Era, 2020, (2): 47–49.
- [20] 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, 2016.
- LIU ZH. Study and online verification for shrimp classification algorithm based on machine vision technology [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [21] ZHANG TY, SUEN CY. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns [J]. Commun ACM, 1984, 27(3): 236–239.
- [22] 金烨楠, 龚瑞, 刘向荣, 等. 3 种对虾的图像测量技术与人工测量方法的比较分析[J]. 水产学报, 2018, 42(11): 1848–1854.
- JIN YN, GONG R, LIU XR, *et al.* Comparative analysis of image measurement technology and artificial measurement method based on three kinds of prawns [J]. J Fish China, 2018, 42(11): 1848–1854.
- [23] 段延娥, 李道亮, 李振波, 等. 基于计算机视觉的水产动物视觉特征测量研究综述[J]. 农业工程学报, 2015, 31(15): 1–11.
- DUAN YE, LI DL, LI ZB, *et al.* Review on visual characteristic measurement research of aquatic animals based on computer vision [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2015, 31(15): 1–11.

(责任编辑: 郑 丽 于梦娇)

作者简介



洪 辰, 主要研究方向为人工智能与图像处理。

E-mail: 1422182407@qq.com



刘子豪, 博士, 讲师, 主要研究方向为人工智能与图像处理。

E-mail: lzh@zjxu.edu.cn