

虾仁图像细化曲线长度与体重相关性研究

潘鹏旻 李建平 傅立 吕谷来 杨徽

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029)

【摘要】 虾仁细化曲线长度是虾仁质量预测的一个重要因素,为了提取虾仁细化曲线长度,对机器视觉所采集的白虾仁图像进行形态学处理,减少细化处理后细化图像曲线的分支,经过对细化曲线每个像素为中心的 3×3 邻域分析,判断出细化曲线的分支,提出一种端点擦除方法去除分支,通过平均值补偿方法还原虾仁细化曲线并计算其长度。经过计算发现,虾仁细化曲线长度与体重函数关系的相关系数为0.894,虾仁面积与体重关系模型的相关系数为0.939,虾仁细化曲线长度、虾仁面积与体重关系模型的相关系数为0.954,可见虾仁细化曲线长度提高了虾仁体重预测的精度。

关键词: 虾仁 机器视觉 图像细化 分支 体重

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Calculation of the Refinement Curve Length of Shrimp and Its Correlation with Weight

Pan Pengmin Li Jianping Fu Li Lü Gulai Yang Hui

(School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract

Refinement curve length of shrimp is an important factor in its weight prediction. Morphological filter was required to reduce branches of the refinement curve in order to get this value. The existence of branches was correctly judged by 3×3 neighborhood analysis of every pixel on the refinement curve. Then the length of refinement curves which contain branches could be calculated by erasing the endpoints to remove branches and average compensation method. The conclusion showed that the correlation was obvious, with the correlation coefficient of 0.894 between its refinement curve length and weight, 0.939 between the size and weight, and prediction correlation coefficient of 0.954 between comprehensive details both of the length and size of shrimp and the weight after modeling. The results indicate that it's promising to increase the predicting accuracy with refinement curve length.

Key words Shrimp, Computer vision, Refinement, Branch, Weight

引言

传统的虾仁生产中剥壳和按大小分级都是由人工完成,生产效率低、易受污染。机器视觉具有非接触性检测和快速图像处理的优点,在水产品生产与加工上有着广阔的应用前景^[1~5]。因此,机器视觉自动分级技术有利于提高虾仁品质安全和经济效益。国外学者对利用机器视觉提取虾类特征做了一

些研究^[6~10],国内还没有应用机器视觉进行虾类形态特征方面研究的报道。

提取虾仁图像的细化曲线时,容易产生分支过多、难以准确得到细化曲线实际长度等问题。本文用形态学方法,对机器视觉获取的虾仁图像提取细化曲线,并用端点缩进平均值补偿分支误差,结合虾仁面积对虾仁体重(单位为:g)进行预测。

收稿日期: 2008-04-11 修回日期: 2008-04-24

作者简介: 潘鹏旻, 硕士生, 主要从事机器视觉研究, E-mail: 32053287@163.com

通讯作者: 李建平, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉、生物生产机器人研究, E-mail: jpli@zju.edu.cn

1 虾仁图像采集系统和试验材料

虾仁图像的采集环境为长方体光照箱内,采集系统包括箱体、光源、背景和摄像机(TMC-7DSP型彩色数字摄像机,美国PULNIX公司)(图1)。摄像机安装在光照箱的正上方,光源采用4个荧光灯,使得摄像机在光照箱视区内光照均匀,避免镜面反射在虾仁的表面产生高光区。图像采集的背景都统一选择为黑色,有利于后期图像处理和识别分析。

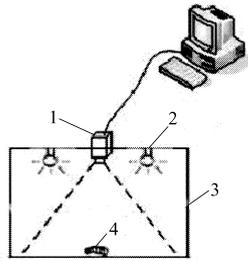


图1 机器视觉系统示意图

Fig.1 Computer vision system

1. 摄像机 2. 光源
3. 箱体 4. 虾仁

采集图像大小为 640×480 , 24 位彩色, 保存为 bmp 格式文件。经过系统标定, 算出图像的实际分辨率为 $0.258 \text{ mm}/\text{像素}$ 。

试验材料为 154 个不同规格的浙江舟山产的冷冻白虾仁, 试验前经过无水冰冻处理, 试验时虾仁处于冷冻状态。

2 图像处理

利用 Matlab6.5 软件^[11]将机器视觉系统所获取的彩色图像进行灰度转换后, 得到灰度值在 $0 \sim 255$ 之间的灰度图像, 再进行阈值分割、形态学运算以及细化处理。

2.1 阈值分割

为了提取图像中虾仁信息, 需对图像进行阈值分割。对处理后的虾仁灰度图像, 利用 Matlab6.5 分析软件进行直方图分析, 发现图像明显呈双峰形状, 低峰代表虾仁, 高峰代表背景, 选取合适的阈值 T , 将原图 $X(i, j)$ 转化为二值图像 $Y(i, j)$ 的公式为

$$Y(i, j) = \begin{cases} 0 & (X(i, j) < T) \\ 1 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (1)$$

根据图 2a, 并根据试验确定的虾仁图像阈值 $T = 40$, 则可将虾仁图像信息完整提取出来(图 2b), 为便于分析, 将图像反色。

2.2 形态学运算与细化

虾仁图像二值化处理后得到的边界往往不平滑, 物体区域具有噪声孔, 背景区域上散布着一些小的噪声物体, 如图 3a 所示。如果不对虾仁二值化图像进行预处理而直接进行细化操作, 则不仅会增加图像细化时间, 而且得到的细化曲线有分支产生, 难以进行虾仁细化曲线长度的计算。而通过形态学开运算后细化曲线如图 3d, 分支情况得到了改善。

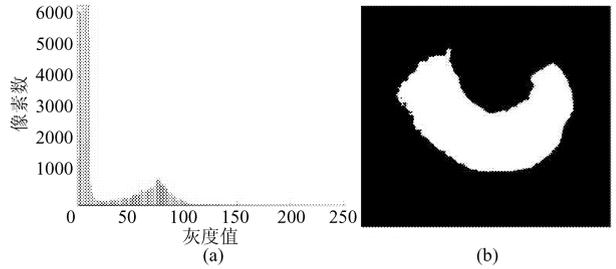


图2 虾仁图像直方图与阈值分割效果图

Fig.2 Histogram and threshold segmentation image of shrimp

- (a) 直方图 (b) 阈值分割图

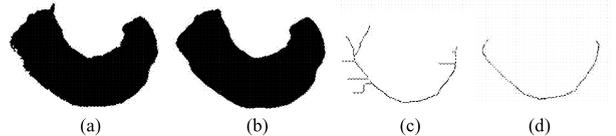


图3 形态学开运算效果图

Fig.3 Images after morphology open operation

- (a) 阈值分割图 (b) 开运算图

- (c) 阈值分割后直接细化图 (d) 开运算后细化图

由于虾仁大小不一致, 选取一种固定滤波器进行形态学滤波处理可能导致虾仁面积、细化曲线长度因滤波而产生变化比例的不一致。对所试验的虾仁在未经形态学处理的情况下计算其图像面积, 平均值为 7953.6 像素, 对此面积大小的虾仁图像试验发现, 采用半径为 4 的圆结构元素对图像进行一次开运算, 然后再进行图像细化, 能得到如图 3d 所示细化效果。其他虾仁根据其图像实际面积与均值间的比例, 对滤波结构元素的半径按比例进行缩放。试验中半径为 4 的圆结构形态学结构元素如图 4 所示。

0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0	0

图4 半径为4的圆结构元素示意图

Fig.4 Disk structure element of morphological filter

虾仁图像经过形态学滤波处理后, 利用 Matlab6.5 中二值图像形态学处理函数 `bwmorph` 中的参数值 `thin` 进行细化处理。对比 154 幅虾仁二值图像形态学滤波后细化结果与直接细化结果, 可以发现直接细化存在分支的细化图像为 18 幅, 形态学滤波后减少至 6 幅, 可见形态学滤波能够在一定程度上减少分支。

3 分支处理与长度计算

3.1 分支判断与去除方法

经过细化处理的虾仁图像, 是宽度为 1 像素的

曲线。通过8连通区域链码的方法计算出以像素为单位的曲线长度,乘上其分辨率0.258 mm/像素,作为虾仁细化曲线长度的测量值。虽然形态学滤波处理能够大大减少虾仁细化曲线上的分支,但仍然不能完全避免分支。而分支的存在则会影响虾仁细化曲线长度的测量精度,因此必须去除分支。

通过对分支结构的分析,选取以黑色像素点为中心的 3×3 区域进行扫描,发现细化曲线分为图5所示的2类情况:①虾仁二值图像中所有黑色像素点的 3×3 区域内像素数都少于4个,则认为该虾仁图像并没有分支出现,直接进行长度的计算(图5a、5b、5c、5d)。② 3×3 区域存在4个或4个以上黑色像素点,则认为该点是一个分支点,该细化图像需要进行剪枝处理(图5e、5f)。因此,只需统计细化曲线上像素 3×3 区域的连接方式,即可判断分支存在与否。

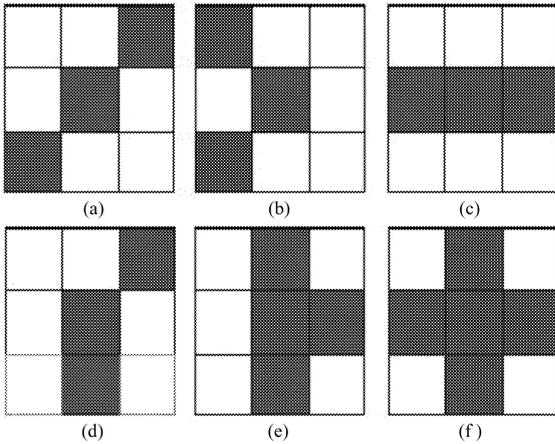


图5 3×3 邻域中3个像素无分支与大于3个像素有分支图像状态

Fig.5 3×3 neighborhood images containing 3 pixels and more than 3 pixels

(a) 无分支情况1 (b) 无分支情况2 (c) 无分支情况3
(d) 无分支情况4 (e) 4个像素存在分支示例 (f) 5个像素存在分支示例

由于分支长度绝大多数情况下都小于分支点到图像端点的长度,分支采用端点擦除的方法进行处理,即:将存在分支图像的端点像素进行检测并擦除,同时计数器a加1,执行一次后返回到分支判断程序;如果仍然存在分支结构,则继续循环上述端点擦除操作直到没有分支点出现为止。由于考虑到速度问题,试验采用3次端点去除后返回分支判断程序,以提高处理速度。通过程序循环最后可以获得一条没有分支的曲线,长度记为 l 。由于在消除分支点的同时,虾仁细化曲线的主线也被部分擦除,因此计算时应将像素长度在结果中补回。由于分支一般不是太长,因此统计原图中4领域相邻像素和对

角相邻像素总数分别记为 m 和 n 。4领域相邻像素长度为1,而对角相邻像素距离为 $\sqrt{2}$,因此整幅图像中2个相连像素长度平均值为 $(m + \sqrt{2}n)/(m + n)$ 。通过这种平均值补偿的方法还原得到虾仁细化曲线长度为

$$L = l + \frac{6a_1(m + 2n)}{m + n} \quad (2)$$

式中 a_1 ——剪枝运算次数,初始值为0

3.2 细化曲线长度计算与结果验证

运用所述方法对虾仁图像进行细化、分支判断及细化曲线长度计算。为验证程序计算细化曲线长度的准确性,对有分支的细化图像,先用Windows XP自带画图软件进行手工去除分支,然后将无分支的细化图像进行长度计算;再应用前述的端点擦除法用编好的计算程序自动去除分支并进行细化曲线长度计算。为便于比较,将手工去除分支后计算的细化曲线长度作为虾仁细化曲线实际长度,将程序自动去除分支和计算的细化曲线长度与之进行比较,得到相对误差。选取其中10组具有代表性的数据,如表1所示。

表1 手工和自动去除分支方法细化曲线长度对比

Tab.1 Contrast of curve length by manual and automatic branch removal method

样本序号	虾仁面积/像素	手工去除分支数据/像素	程序自动处理数据/像素	相对误差/%
1	11 635.0	237.25	236.75	-0.21
2	9 820.3	197.25	198.25	0.51
3	8 450.8	196.25	194.00	1.15
4	7 487.6	163.25	159.25	-2.45
5	5 586.8	170.25	166.25	-2.35
6	11 083.0	230.50	230.75	0.11
7	8 302.0	201.25	205.75	2.24
8	7 907.6	196.00	191.75	2.17
9	4 884.0	140.00	139.25	-0.54
10	12 696.0	240.25	245.50	2.19

由表1可知,通过补偿所得的虾仁细化曲线长度精度在97.5%以上,最大误差仅为5.25像素,按像素标定可计算出实际误差为1.355 mm。

4 细化曲线长度、面积与体重关系

虾仁体重通过精度为0.01 g的电子天平(TD10002型,金诺天平仪器有限公司)称取。将虾仁体重与细化曲线长度用TableCurve 2D(Jandel Scientific Software, Version 5.01)软件,通过 $y = a + bx$ 、 $y = a + bx^{1.5}$ 、 $y = a + b \ln x$ 、 $y = a + b/x$ 、 $y =$

$a + bx^2$ 等方程进行拟合,得到相关性最高的方程为 $y = -4.564 + 0.53x^2$,相关系数为 $r^2 = 0.894$,式中 x 为虾仁细化曲线长度, y 为虾仁体重。

同样地,将虾仁体重与面积进行拟合,得到面积与体重的关系式为 $y = 0.766 + 2.753 \times 10^{-8} z^2$,相关系数为 $r^2 = 0.939$,其中 z 代表虾仁面积, y 代表虾仁体重。

虽然虾仁细化曲线长度作为单独因素进行体重预测时,其相关性没有虾仁面积与体重的相关性高,但是由于存在虾仁面积相同,而虾仁体重不相等的情况,故需将虾仁细化曲线长度作为一个指标,结合虾仁面积进行虾仁体重综合预测。

将虾仁体重与细化曲线长度、虾仁面积用 TableCurve-3D (Jandel Scientific Software, Version 4.0.01),通过二次方程进行拟合,得到拟合公式为 $y = -2.442 + 4.594 \times 10^{-2} x + 1.203 \times 10^{-4} x^2 + 2.879 \times 10^{-4} z + 4.522 \times 10^{-8} z^2$,相关系数 $r^2 = 0.954$,式中, x 代表虾仁细化曲线像素, z 代表虾仁面积像素数, y 代表虾仁体重。可以看出,其相关性比单因素要高,预测精度相应提高。

5 结论

(1)形态学开运算能够有效减少或消除在虾仁图像细化处理中产生的分支数量,给细化曲线长度计算带来方便。

(2)根据虾仁图像大小改变滤波结构半径进行图像开运算,可以减少滤波导致的细化曲线长度相对误差。

(3)对细化曲线上每个像素的 3×3 邻域分析,若每个像素的 3×3 邻域内像素和均少于 4 个像素则可认为无分支,存在或超过 4 个像素时该点则被判断为分支点。

(4)由端点缩进方法对虾仁细化曲线进行剪枝处理,通过平均值补偿法返回被擦除的虾仁细化曲线主轴部分。通过这种方法获取的虾仁细化曲线长度,与画图软件手动擦除分支后的曲线长度对比,精确度在 97.5% 以上。

(5)建立了虾仁体重与面积、细化曲线长度之间的相关性模型,证明了虾仁细化曲线长度能够作为虾仁体重预测的指标之一,从而提高了预测精度。

参 考 文 献

- 1 Harvey E. The accuracy and precision of underwater measurements of length and maximum body depth of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) with a stereo-video camera system[J]. Fisheries Research, 2003, 63(3): 315~326.
- 2 彭波,孙一林,崔永普. 渔场夜间监控系统图像去噪算法[J]. 农业机械学报,2005,36(10):97~100.
Peng Bo, Sun Yilin, Cui Yongpu. Implementation of denoise algorithm for fishery monitoring system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(10):97~100. (in Chinese)
- 3 White D J, Svelling C, Strachan N J C. Automated measurement of species and length of fish by computer vision[J]. Fisheries Research, 2006, 80(2~3): 203~210.
- 4 林艾光,孙宝元,矢田贞美. 基于机器视觉的虾夷扇贝分级检测方法研究[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 397~403.
Lin Aiguang, Sun Baoyuan, Yada Sadami. Studies on the detecting method of scallop grading based on machine vision[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(3): 397~403. (in Chinese)
- 5 Misimi E, Erikson U, Digre H, et al. Computer vision-based evaluation of pre-and postrigor changes in size and shape of atlantic cod (*Gadus morhua*) and atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets during rigor mortis and ice storage: effects of perimortem handling stress[J]. Journal of Food Science,2008,73(2):57~68.
- 6 Kassler M. Robotics and prawn-handling[J]. Robotica, 1990, 8: 299~301.
- 7 Ling P P, Searcy S W. Feature extraction for a machine-vision-based shrimp deheader[J]. Transactions of the ASAE,1991, 34(6): 2 631~2 636.
- 8 Luzuriaga D A, Balaban M O, Yeralan S. Analysis of visual quality attributes of white shrimp by machine vision[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(1): 113~118.
- 9 Luzuriaga D A. Application of computer vision and electronic nose technologies for quality assessment of color and odor of shrimp and salmon[J].Dissert. Abst. Int. Part B; Sci. Eng.,2000,60 (9): 4 323.
- 10 Harbitz A.Estimation of shrimp (*Pandalus borealis*) carapace length by image analysis[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007,64(5): 939~944.
- 11 周志艳,周学成,罗锡文,等. 基于 Matlab 的根系断层图像分割处理算法[J]. 农业机械学报,2006,37(12):118~121.
Zhou Zhiyan, Zhou Xuecheng, Luo Xiwen, et al. Study on Matlab-based segmentation algorithms for X-ray CT image of plant root[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(12):118~121. (in Chinese)