

融合梯度幅值和置信度的鸡蛋裂纹图像检测

吴兰兰 王巧华 祝志慧 王树才 熊利荣

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 提出一种融合梯度幅值和置信度的鸡蛋裂纹检测新方法。采集褐壳鸡蛋的裂纹图像,运用提及边缘检测算法获取感兴趣区域图像,采用最大边界算法挑选边界轮廓,融合二者获取裂纹区域图像。对3种典型鸡蛋裂纹图像进行边缘检测新方法与传统边缘检测算子(Log算子、Sobel算子及Canny算子)对比试验,结果表明:融合梯度幅值和置信度的鸡蛋裂纹检测新方法能够克服固定阈值适应性较差的缺陷,提高检测准确率,在消除噪声、增强弱边缘信息方面优于传统边缘检测算子。

关键词 蛋壳裂纹; 置信度; 算子; 梯度幅值; 磁滞阈值; 非极大抑制

中图分类号 TP 317.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)06-0136-06

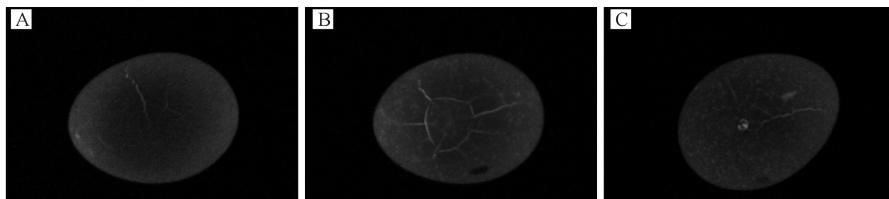
鸡蛋蛋壳保护蛋液不受微生物的入侵。如果蛋壳出现裂纹,微生物和各种污染物势必入侵蛋液,造成蛋品污染,特别是一些有害细菌,如沙门氏菌会危害人体健康。因此,蛋壳裂纹的检测、分割和识别研究成为鸡蛋品质检测中的重要环节。目前,蛋类裂纹检测分为机器视觉^[1-2]、声学冲击特性^[3-7]和振动特性^[8-11]三类。其中,利用振动特性和声学冲击特性进行蛋类裂纹检测容易产生蛋壳二次破损问题,因而基于无接触式的蛋壳裂纹视觉检测方法得到越来越广泛的研究。在蛋壳裂纹的视觉研究中,裂纹检测和定位的精确性直接影响后续图像的分割结果。传统裂纹视觉检测方法主要采用基于梯度的边缘检测算子,以梯度向量幅值作为判别依据。在噪声较小且边缘图像清晰的情况下,传统的边缘检测算子能够获得较好结果。但是,由于图像在获取、储存以及转换过程中存在失真,导致图像精度不高,且

梯度幅值提供的信息有限,传统边缘算子极大影响检测结果。针对上述问题,本研究通过融合梯度幅值和置信度作为判别依据,提出一种增强弱边缘信号并抑制噪声信号的裂纹图像检测新方法,探索适合鸡蛋裂纹视觉检测的边缘提取算法,以期对裂纹蛋的无损检测提供前期准备。

1 材料与方法

1.1 样本获取

市场选取新鲜褐壳鸡蛋100枚,编号为1~100,蛋质量为55.3~64.2 g,平均质量为56.9 g。在电子材料试验机(RGM-6010,深圳)上进行随机裂纹损伤试验,获取不同类型裂纹,如线状和网状等,为裂纹损伤检测提供样品。典型破损鸡蛋图像如图1所示。所有原始图像背景均衡化处理在MatlabR2008a软件和计算机上完成,其配置



A: 线状裂纹 Linear crack; B: 网状裂纹 Network crack; C: 点状裂纹 Spot crack.

图1 破损鸡蛋图像

Fig.1 Crack egg images

收稿日期: 2015-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371771)

吴兰兰, 博士, 高级工程师. 研究方向: 农产品无损检测及图像分析. E-mail: wulanlan@mial.hzau.edu.cn

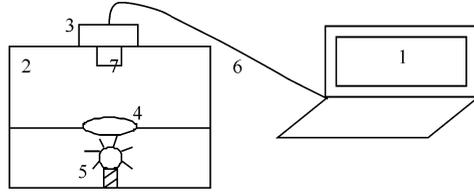
通信作者: 王巧华, 博士, 教授. 研究方向: 农产品无损检测技术与装备. E-mail: wqh@mail.hzau.edu.cn

为：处理器为 AMD A8-5500，主频 3.2 GHz，内存 4 GB。

1.2 图像获取

图像获取试验装置由光照系统(包括暗箱和光源)、UI-2230ME-C 工业相机(德国 IDS)、4 mm 焦

距 VS-LD4 低畸变镜头(日本)、USB2.0 数据线以及计算机组成(图 2)。采集图像时，将鸡蛋样本沿赤道平放在暗箱隔板的孔洞中与镜头垂直，距离 15 cm。32 W 的光源固定在暗箱底部距离样本 8 cm 处。采集分辨率为 $1\ 024 \times 768$ 像素，格式为 24-bit



1.计算机 Computer; 2.暗箱 Black box; 3.工业相机 CCD camera; 4.样本 Chicken egg; 5.光源 Light; 6.数据线 Data cable; 7.镜头 Lens.

图 2 图像获取试验装置

Fig.2 Experimental device of image acquisition

bmp 图像储存在计算机中，用于后续分析。

1.3 边缘置信度计算

假定邻域灰度值矩阵为 $A(a_{ij})$ ，权值模板为 $\omega(\omega_{ij})$ ，当 $(2n+1) \times (2n+1)$ 窗口滑过给定图像时，中心点像素灰度值 M_{output} 为

$$M_{\text{output}} = \sum \omega_{ij} a_{ij} = \text{trace}[\omega^T A] \quad (1)$$

根据式(1)，定义 2 个差分模板 ω_1 和 ω_2 ， ω_{\perp} 为其平面正交补，获取假设边缘的独立估计。如图 3 所示， P_a 是 a 在梯度算子平面的投影， t 为估计梯度相位 $\hat{\theta}$ 上的边缘模板^[12]。则边缘置信度 η 简单定义为

$$\eta = |t^T a| \quad (2)$$

其中， t 和 a 均为单位向量， η 为 t 和 a 夹角余弦值的绝对值，也就是说在图像领域，它表示标准化数据和模板的相关系数的绝对值。由图 3 和式(2)可知， η 与梯度相位 $\hat{\theta}$ 无关，因此，能够提供假设边缘的独立估计。

设梯度幅值和相位分别为 \hat{g} 、 $\hat{\theta}$ ，那么边缘方向角 $\hat{\theta}_e$ 为

$$\hat{\theta}_e = \hat{\theta} - 90^\circ = -\tan^{-1} \left(\frac{\text{trace}[\omega^T A]}{\text{trace}[\omega A]} \right) \quad (3)$$

$$-180^\circ \leq \hat{\theta}_e < 180^\circ$$

实际应用中，由边缘方向角 $\hat{\theta}_e$ 构成边缘模型，经过标准化处理，得到均值为 0、Frobenius 范数为 1 的边缘模板，记为 A_{ref} ，则

$$t = \text{vec}[A_{\text{ref}}] \quad (4)$$

因此，边缘置信度 η 表示为：

$$\eta = |t^T a| = |\text{trace}[A_{\text{ref}}^T A]| \quad (5)$$

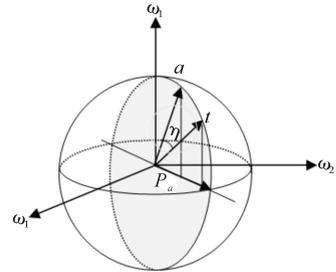


图 3 边缘置信度测量

Fig.3 Measure of confidence

1.4 融合置信度的图像检测

传统基于梯度的边缘检测分为 3 步：梯度向量估计、非极大抑制和磁滞阈值。在判别过程中使用梯度幅值作为选取标准：幅值足够大的像素被判定为边缘点，这一标准存在一定盲区，在垂直模板的平面的像素“不可见”。为了解决这个问题，本研究在传统边缘检测算法中使用融合置信度和梯度幅值累积分布值作为判别标准。给定不同梯度幅值 $\hat{g}_{(1)} < \hat{g}_{(2)} < \dots < \hat{g}_{(k)} < \hat{g}_{(k+1)} < \dots < \hat{g}_{(n)}$ ，则 $\hat{g}_{(k)}$ 可以用概率函数表示：

$$\rho_k = \text{Prob}[\hat{g} \leq \hat{g}_{(k)}] \quad (6)$$

其中， ρ_k 是梯度幅值累积分布百分比。这样，图像中每个像素点对应 1 组 (ρ, η) 值。设 $\rho-\eta$ 平面曲线方程 $f(\rho, \eta) = 0$ ，对于平面上任意点 (ρ_0, η_0) ， $f(\rho_0, \eta_0)$ 称为点到曲线的代数距离。曲线将平面分为两部分：包含原点在内的所有点对应的值 $f(\rho, \eta) < 0$ ，曲线外其余点对应的值 $f(\rho, \eta) > 0$ 。仅当 (ρ_0, η_0) 2 个虚拟邻点对应的值均

为负数时, (ρ_0, η_0) 对应的像素点具有局部最大值。具有局部最大值的像素并不一定是边缘点, 需要进行磁滞阈值处理, 最终判定是否是边缘点像素。步骤如下: 定义 $\rho-\eta$ 平面中 2 个边界曲线 $f^{(L)}(\rho, \eta) = 0$ 和 $f^{(H)}(\rho, \eta) = 0$, 落在 2 条曲线之间的像素点如果邻点是边缘点则判定该点也为边缘点; $f^{(H)}(\rho, \eta) > 0$ 的点判定为边缘点; $f^{(L)}(\rho, \eta) < 0$ 的点判定为其余点^[12](图 4)。

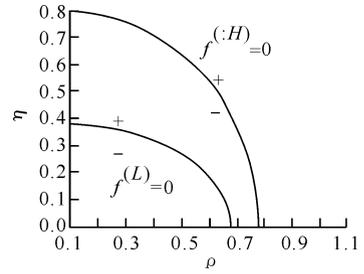


图 4 $\rho\eta$ 图

Fig.4 The $\rho\eta$ -diagram

融合梯度幅值和置信度的边缘检测具体过程如图 5 所示。

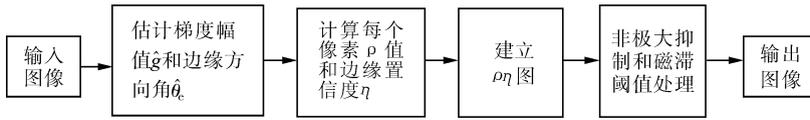
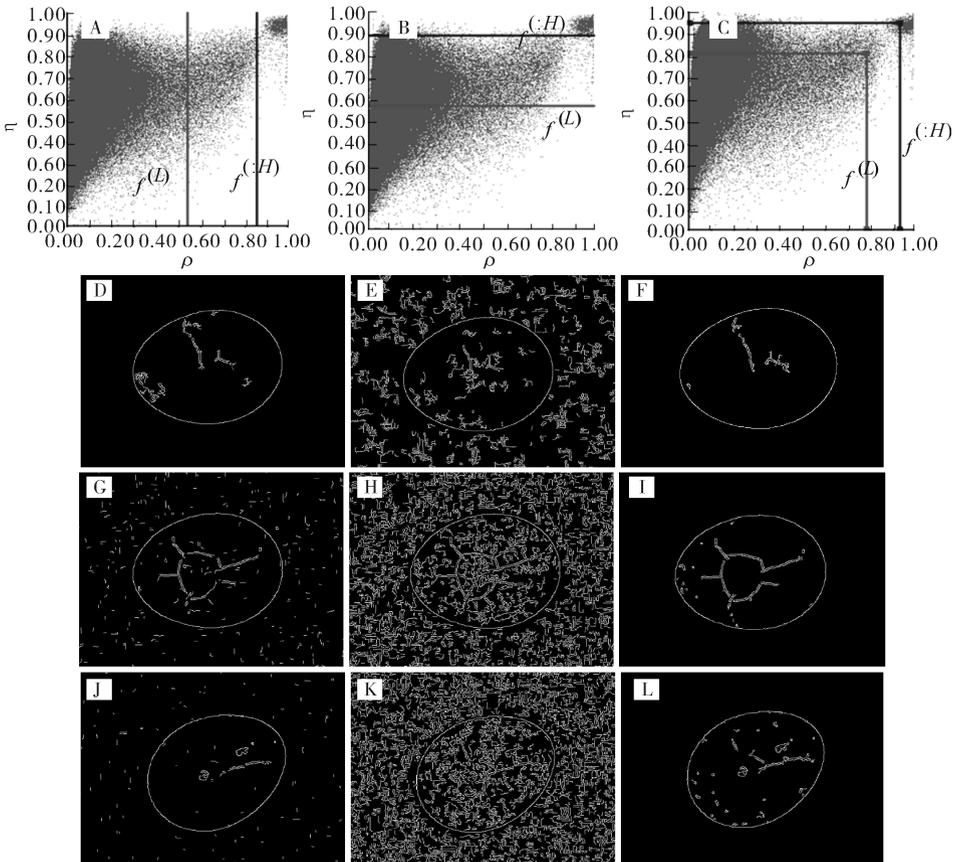


图 5 融合梯度幅值和置信度的边缘检测算法示意图

Fig.5 Paradigm of confidence-based edge detector



A, D, G, J: ρ 图及检测结果 ρ -Diagram and detection result; B, E, H, K: η 图及检测结果 η -Diagram and detection results; C, F, I, L: $\rho\eta$ 图及检测结果 $\rho\eta$ -Diagram and detection results; 图 A, B, C 中线条分别代表 $f^{(L)}(\rho, \eta) = 0$ 和 $f^{(H)}(\rho, \eta) = 0$ 。Straight line correspond to $f^{(L)}(\rho, \eta) = 0$ and $f^{(H)}(\rho, \eta) = 0$, respectively.

图 6 $\rho\eta$ 图及不同参数所对应的检测结果

Fig.6 $\rho\eta$ -Diagrams and detection results with different parameters

2 结果与分析

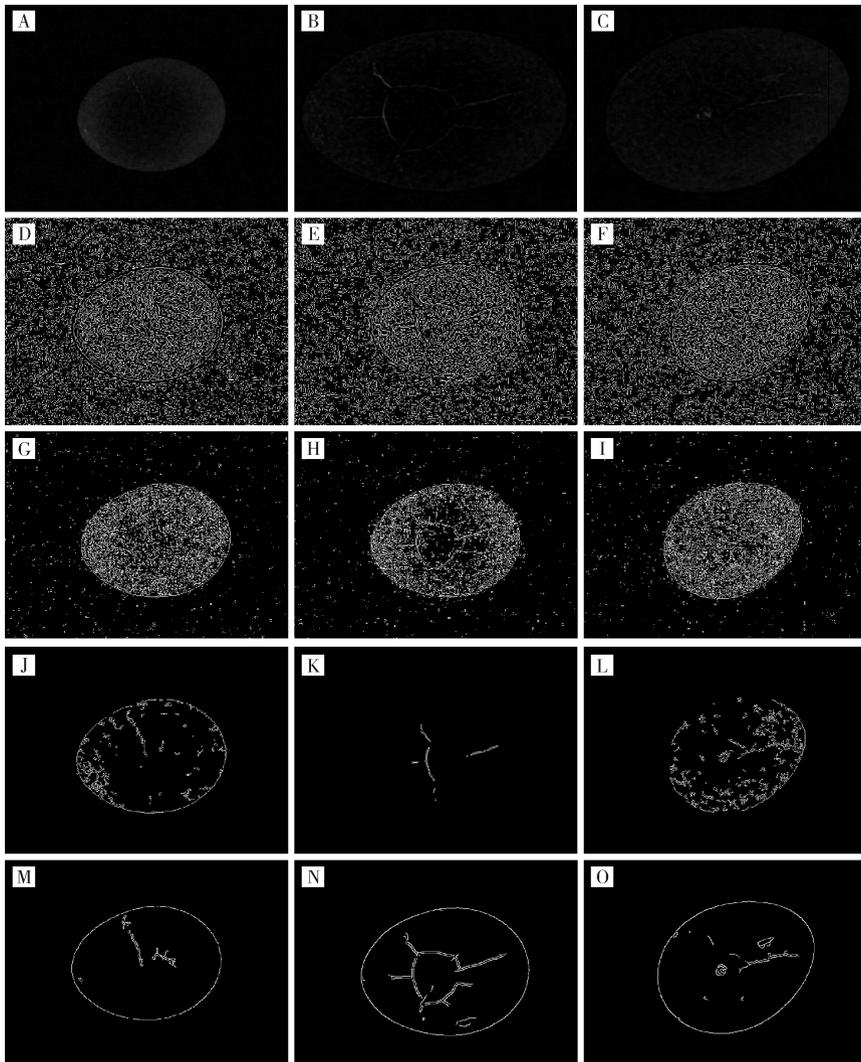
2.1 性能测试

以图 1 所示的 3 幅典型裂纹图像为例,选取不同参数(ρ 、 η 及 $\rho\eta$)进行性能测试比较,结果如图 6 所示。从试验结果看出,当只采用梯度幅值(ρ)进行磁滞阈值处理时,算法能够保留鸡蛋壳完整的边缘信息,但存在过多噪声,裂纹还存在断裂现象,如图 6J 所示,不利于后续裂纹蛋的自动识别工作;当只采用置信度(η)进行磁滞阈值处理时,算法仅能保留鸡蛋外壳完整的边缘信息,裂纹信息不明显,且噪声较多,同样不利于后期的数据处理工作;当结合梯度幅值和置信度($\rho\eta$)进行磁滞阈值处理时,算法

能够得到完整且连续的蛋壳和裂纹信息,而且能够极大程度消除多余噪声,为下一步进行裂纹蛋的自动识别提供可靠的数据基础。因此,本研究采用梯度幅值和置信度融合的边缘检测算法。

2.2 鸡蛋检测结果比较

为了验证本研究算法的可行性,选取 3 种传统边缘检测算子:Log 算子、Sobel 算子以及 Canny 算子,与本研究提出的融合梯度幅值和置信度的边缘检测方法进行对比试验(图 7)。试验中,参数分别根据多次试验效果最优来选取;Log 及 Sobel 算子采用自动获取阈值算法;Canny 算子中 sigma 为 0.1;本研究方法中梯度幅值为 0.93~0.99,置信度为 0.91~0.96。



A, B, C: 灰度图像 Grey images; D, E, F: Log 算子 Log operator; G, H, I: Sobel 算子 Sobel operator; J, K, L: Canny 算子 Canny operator; M, N, O: 本研究方法 Confidence-combined operator.

图 7 4 种不同算法的检测结果

Fig.7 Detection results of applying four algorithms

针对 3 种典型的鸡蛋裂纹图像,首先提取 g 分量进行灰度化处理,获取灰度图像(图 7A,B)。从试验结果看出:Log 算子和 Sobel 算子检测结果噪声过多,不能清晰获取鸡蛋轮廓及裂纹信息,不利于后续图像的进一步分析与处理;Canny 算子能够消除大部分噪声,但在使用同一参数的情况下,获取的边缘信息并不稳定,如图 7K 所示,网状裂纹图像存在过分割问题;融合置信度和梯度幅值的边缘检测算法能够得到较好地将鸡蛋蛋壳边缘和裂纹信息提取出来,同时较大程度消除噪声,并且针对不同鸡蛋裂纹样本,使用相同试验参数,均能较好地保留完整

的轮廓和裂纹信息,有利于后续的图像分析和数据处理工作。

2.3 裂纹获取

裂纹获取是裂纹检测中至关重要的环节。裂纹区域精准定位直接影响后续目标识别的精度。采用融合梯度幅值和置信度的边缘检测算法获取的图像包含轮廓边缘信息,需要剔除。鸡蛋轮廓剔除算法主要采用最大边界选取法。试验步骤:针对原始图像提前 g 分量灰度化,然后采用最大边界选取算法,获取鸡蛋边缘轮廓信息。轮廓信息融合前面提及的裂纹图像信息,最终获取裂纹图像(图 8)。

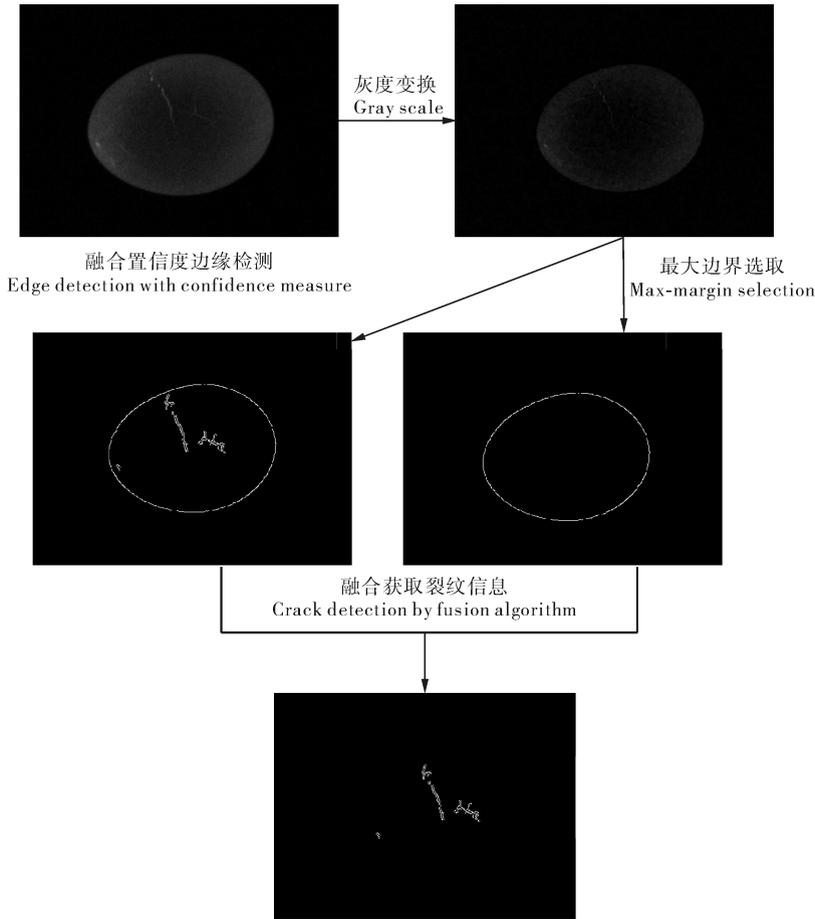


图 8 运用本研究方法获取鸡蛋裂纹过程

Fig.8 Process for crack detection using the proposed method

3 讨论

我们研究了褐壳鸡蛋裂纹图像的检测算法,即首先通过邻域中心梯度相位确定标准边缘模板,计算累积分布函数和置信度;然后分别进行非极大抑制和磁滞阈值处理,在消除大量噪声情况下达到准确获取图像中弱边缘信息的目的。利用 3 种典型蛋

壳裂纹图像作为测试样本,建立 $\rho\eta$ 图,完成了鸡蛋裂纹图像的检测工作,并对试验结果进行了定性评价。试验结果表明:与其他算法相比,该算法获取的边缘图像完整连续,且噪声少;在算法稳定性及通用性上,同样试验参数,不同类型裂纹图像均能获得最佳效果,而其他算法随参数变化影响较大。以上试验结果的定性分析结果表明,融合梯度幅值和置信

度的检测算法能够取得较好的检测结果,同时,能够精准定位裂纹区域,为后续裂纹蛋的自动识别提供可靠数据。但是本研究只对该算法进行定性评价,有必要在下一步研究中引入定量评价,以期在裂纹鸡蛋无损检测工作提供更加科学的依据。

参 考 文 献

- [1] LI Y Y, DHAKAL S, PENG Y K. A machine vision system for identification of micro-crack in eggshell[J]. Journal of food engineering, 2012, 109(1): 127-134.
- [2] 熊利荣, 谢灿, 祝志慧. 基于 Adaboosting_SVM 算法的多特征蛋壳裂纹识别[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(2): 136-140.
- [3] 潘磊庆, 屠康, 刘明, 等. 基于声学响应和 BP 神经网络检测鸡蛋裂纹[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(6): 115-118.
- [4] 林颖, 赵杰文, 陈全胜, 等. 基于声学特性的鸡蛋蛋壳裂纹检测[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 199-202.
- [5] SUN L, BI X K, LIN H, et al. On-line detection of eggshell crack based on acoustic resonance analysis[J]. Journal of food engineering, 2013, 116(1): 240-245.
- [6] JIN C, XIE L J, YING Y B. Eggshell crack detection based on the time-domain acoustic signal of rolling eggs on a step-plate [J]. Journal of food engineering, 2015, 153: 53-62.
- [7] DENG X Y, WANG Q H, CHEN H, et al. Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine[J]. Computers and electronics in agriculture, 2010, 70(1): 135-143.
- [8] ZHAO Y, WANG J, LU Q J, et al. Pattern recognition of eggshell crack using PCA and LDA[J]. Innovative food science and emerging technologies, 2010, 11(3): 520-525.
- [9] 谢灿, 熊利荣. 蛋敲击激励后产生的振动特性[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(2): 133-136.
- [10] 潘磊庆, 屠康, 赵立. 敲击振动检测鸡蛋裂纹的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 11-15.
- [11] 吴雪. 鸡蛋裂纹损伤检测的声振分析方法研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 10-13.
- [12] MEER P, GEORGESCU B. Edge detection with embedded confidence[J]. IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, 2001, 23(12): 1351-1365.

Image detection of eggshell crack with gradient magnitude and confidence measure

WU Lanlan WANG Qiaohua ZHU Zhihui WANG Shucui XIONG Lirong

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A novel detection method combining gradient magnitude with confidence measure was established to detect eggshell crack. Images of brown eggshell crack were acquired to obtain ROI edge map using the edge detector proposed. Then, images of the boundary of brown eggs were extracted with a maximum margin algorithm. Finally, crack images were extracted with reference to edge map and images of the boundary of eggs. Three typical images of eggshell crack were analyzed and compared among the improved edge detection algorithm and traditional edge detectors including log operator, sobel operator and canny operator. The results showed that the established method overcame the adverse effect brought from the fixed threshold and had a better performance with an advantage over the traditional edge detectors in effectively suppressing the influence of the noise and detecting weak edges.

Keywords eggshell crack; confidence measure; operator; gradient magnitude; hysteresis threshold; non-maximum suppression

(责任编辑:陆文昌)