

引用格式:

张新伟, 易克传, 孙业荣, 高连兴. 基于双通道 PCNN 的玉米种子机械裂纹检测方法[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 103–108.

ZHANG X W, YI K C, SUN Y R, GAO L X. Mechanical crack detection method of corn seeds based on dual channel PCNN[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(1): 103–108.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



基于双通道 PCNN 的玉米种子机械裂纹检测方法

张新伟^{1,3}, 易克传^{1,3}, 孙业荣¹, 高连兴^{2*}

(1.安徽科技学院机械工程学院, 安徽 滁州 233100; 2.吉林农业大学工程技术学院, 吉林 长春 130118; 3.玉米育种安徽省工程技术研究中心, 安徽 滁州 233100)

摘要: 针对玉米种子机械裂纹检测准确率低的问题, 提出一种基于双通道脉冲耦合神经网络(PCNN)模型的数字图像融合方法: 1) 运用离散小波变换(DWT)、非下采样轮廓波变换(NSCT)分别对预处理后的玉米种子机械裂纹图像进行分解, 得到各自的高低频子带; 2) 对高低频子带系数分别采用不同链接强度的改进空间频率激励的双通道 PCNN 模型进行融合操作, 得到融合后的高低频子带系数; 3) 通过 NSCT 反变换得到最终的玉米种子机械裂纹图像。试验结果表明: 采用双通道 PCNN 模型检测玉米种子机械裂纹的准确率为 97.2%; 图像熵、相关熵、相关系数、均方根误差分别为 0.351 1、1.731 4、0.983 5 和 0.526 3, 整体优于 LoG、DWT、NSCT 和 PCNN 方法; 双通道 PCNN 方法的单张图像的执行时间为 14.900 7 s, 运行时间最长, 但效果最优。

关键词: 玉米种子; 机械裂纹; 双通道脉冲耦合神经网络; 检测

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1007–1032(2022)01–0103–06

Mechanical crack detection method of corn seeds based on dual channel PCNN

ZHANG Xinwei^{1,3}, YI Kechuan^{1,3}, SUN Yerong¹, GAO Lianxing^{2*}

(1.College of Mechanical Engineering, Anhui Science and Technology University, Chuzhou, Anhui 233100, China; 2.College of Engineering, Jilin Agriculture University, Changchun, Jilin 130118, China; 3.Institute of Corn Breeding Engineering and Technology of Anhui Province, Chuzhou, Anhui 233100, China)

Abstract: To solve the problem of low accuracy for mechanical crack detection in corn seeds, a digital image fusion method based on two-channel pulse coupled neural network (PCNN) model was proposed. Firstly, discrete wavelet transform (DWT) and non-subsampled contourlet transform (NSCT) were used to decompose the pretreated mechanical crack images of corn seeds, respectively, in order to obtain their high and low frequency sub-bands. Secondly, the high and low frequency sub-band coefficients are fused by using the improved spatial frequency excitation two-channel PCNN model with different link strengths. Thirdly, the final mechanical crack image of corn seed was obtained by NSCT inverse transformation. The experimental results show that the accuracy of the two-channel PCNN model is 97.2%, and the image entropy, correlation entropy, correlation coefficient and root mean square error are 0.351 1, 1.731 4, 0.983 5 and 0.526 3, respectively, which are better than the LoG, DWT, NSCT and PCNN methods. The execution time of single image by using dual-channel PCNN method is 14.900 7 s, which has the longest running time and the best effect.

Keywords: corn seed; mechanical crack; double-channel pluse coupled neural net(PCNN); detection

收稿日期: 2020–04–25

修回日期: 2021–07–30

基金项目: 安徽省教育厅项目(KJ2018A0542、KJ2018A0543、KJ2020A0068); 安徽省科学技术厅项目(202004a06020004、202104a06020001)

作者简介: 张新伟(1983—), 男, 辽宁葫芦岛人, 博士, 副教授, 主要从事农产品收获与加工装备研究, xwzhang1983@163.com; *通信作者, 高连兴, 博士, 教授, 主要从事农产品收获与加工装备研究, lianxing_gao@126.com

玉米种子机械脱粒过程中会产生机械裂纹,将影响后续发芽以及幼苗的生长发育^[1-3],造成玉米种质资源浪费,导致玉米减产。加强玉米种子机械裂纹的检测,剔除不良种子十分重要。有关谷物缺陷的检测,当前主要采用声学法^[4-6]、机器视觉法^[7-9]和光谱法^[10-12]。声学法对试验环境、声音传感器及其放置位置、物料的下降高度、撞击角度等要求较苛刻,测量准确性难以保证;光谱技术多用于对果蔬农药残留、糖度和可溶性固体等的检测;机器视觉技术由于处理速度快、处理方法多样以及结果准确性高的特点而被广泛应用于谷物品质检测领域,但检测时通常只使用一种检测方法。由于玉米种子的形状、大小及颜色等各不相同,单一检测方法易丢失图像细节信息,导致检测结果准确率低,所以采用融合方法可有效提高玉米种子机械裂纹检测准确率^[13]。张新伟等^[14]采用 GA+改进的脉冲耦合神经网络(PCNN)的方法对粘连玉米籽粒图像进行分割,分割准确率最高为 98%,但方法的实现或因为与其他方法结合耗时较长,或因采用多个 PCNN 模型而使得计算过程复杂。针对玉米种子机械裂纹

细节多及检测过程中 PCNN 融合图像时计算量大、效率低的问题,笔者采用双通道 PCNN 模型对玉米种子的机械裂纹进行融合检测,以期提高玉米种子内部机械裂纹检测的准确率。

1 玉米种子图像采集及检测

1.1 图像采集及处理

选用玉米育种安徽省工程技术研究中心提供的‘凤甜 11’玉米种子作研究材料。成像系统主要由光源和成像装置 2 部分组成。光源采用 LED 灯泡。将待检测的玉米种子放置在玻璃托盘上,LED 光自通光孔照射到光箱内,再透过玻璃托盘照射到玉米种子上,此时可以观察到玉米种子上存在的机械裂纹;成像装置与显示器连接,通过显示器观察玉米种子的裂纹,获取玉米种子图像。

将待检测玉米种子的 RGB 彩色图像(图 1-a)中的红、绿和蓝 3 基色分别单独转换为灰度图像(图 1-b),并分别得到对应的灰度直方图(图 1-d、图 1-e、图 1-f)。

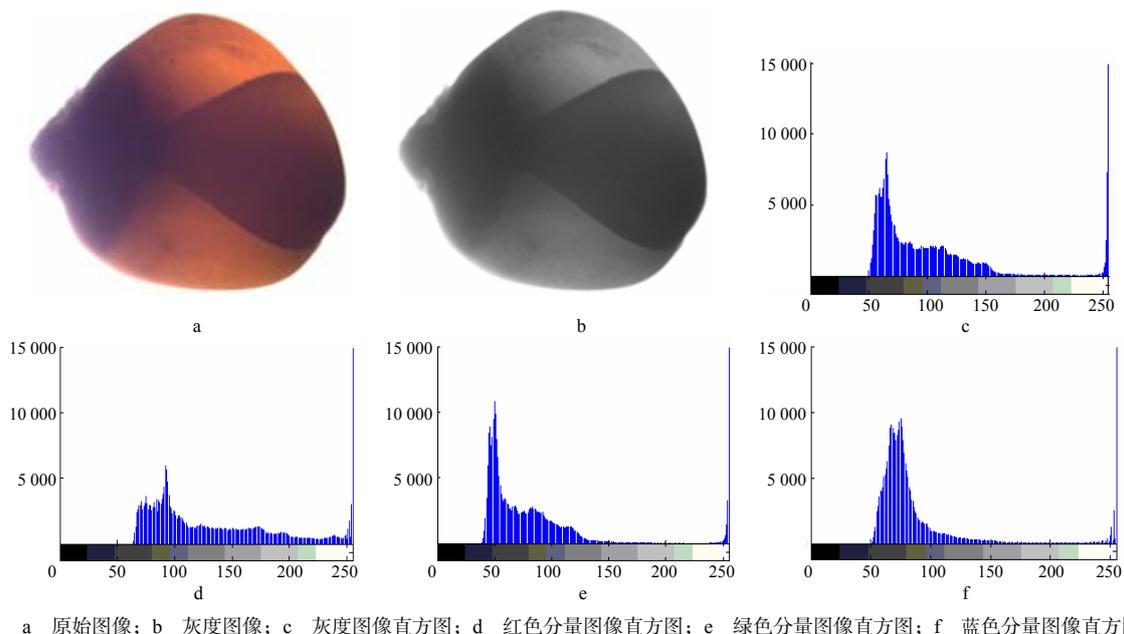


图 1 玉米种子灰度图像各分量直方图

Fig.1 Histogram of gray image components for corn seeds

从图 1 可知,原蓝色分量的灰度值基本服从正态分布,灰度值主要集中在 50 至 180 之间。蓝色分量的灰度图像玉米籽粒区域轮廓清晰,轮廓边缘

与图像背景像素差异明显,而且玉米籽粒区域内部的灰度均匀,没有灰度突变情况,所以选择玉米种子的蓝色分量灰度图像作为待检测图像。

1.2 玉米种子图像融合模型的建立

1.2.1 玉米种子图像的 DWT 和 NSCT 分解

分别应用离散小波变换(DWT)^[15]和非下采样轮廓波变换(NSCT)^[16]方法,对玉米种子图像进行 4 级分解。

1.2.2 PCNN 模型及改进

分析传统的 PCNN 数学模型^[17]可知其为单输出。当采用传统 PCNN 模型进行数字图像融合时需要同时应用多个 PCNN 模型,在实际融合过程中并不方便,因而对传统 PCNN 模型进行改进,即将单通道输出改进为双通道输出。其数学描述如下:

$$H_{ij}^1[n] = f^1(Y[n-1]) + S_{ij}^1 \quad (1)$$

$$H_{ij}^2[n] = f^2(Y[n-1]) + S_{ij}^2 \quad (2)$$

$$U_{ij}[n] = (1 + \beta^1 H_{ij}^1[n])(1 + \beta^2 H_{ij}^2[n]) + \sigma \quad (3)$$

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1, & U_{ij}[n] > E_{ij}[n-1] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$E_{ij}[n] = \exp(-\alpha_E)E_{ij}[n-1] + V_E Y_{ij}[n] \quad (5)$$

式中: σ 为神经元内部平衡因子; H^k 为外部第 k 个输入通道, k 值取 1 和 2; $f(\cdot)$ 表示周围神经元对自己的影响方式; β 为内部活动项的连接系数; S_{ij} 为神经元强制激发的外部激励值; U_{ij} 为神经元的内部活动项; Y_{ij} 为神经元的输出,当输出由 0 增大至 1 时为神经元的点火; α_E 为动态门限 E 的衰减时间常数; V_E 为动态门限 E 的放大系数。

改进后的 PCNN 模型主要由树突树、信息融合与脉冲生成器组成。其中树突树主要用来接收来自外部的激励输入和周围神经元的激励;信息融合部分主要进行图像数据的融合;脉冲生成器主要产生输出脉冲。

改进后的 PCNN 模型中,可以改变来自外部的激励数目,单一通道外部激励改变为双通道的外部激励。

从改进的 PCNN 数学模型的式(3)和式(4)可以看出,当进行多幅图像融合处理时,同一像素位置亮度较高的像素最早被点火,同时改进模型考虑了传统 PCNN 模型原有的图像增强功能以及人眼视觉

特性,其并不直接输出融合后的图像,而是以改进 PCNN 模型的赋时矩阵作为对数亮度的输出,并结合人眼视觉的 Weber-Fechner 定律^[18],从而使得融合后的图像既满足人眼的视觉特性,同时又有一定的图像增强效果。

1.2.3 玉米种子图像融合

玉米种子图像融合流程如图 2 所示。

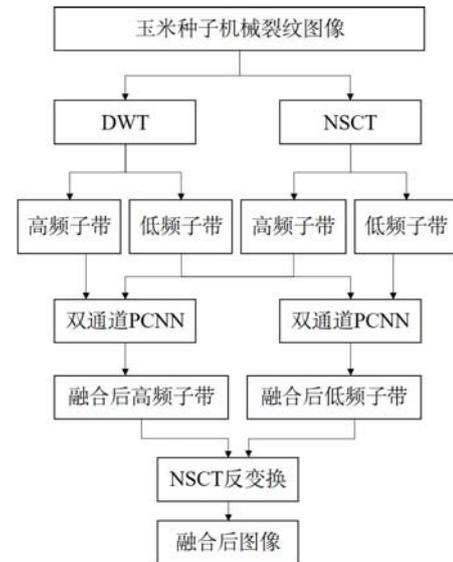


图 2 玉米种子图像融合流程

Fig.2 Chart of image fusion for damaged corn seeds

- 1) 运用 DWT 和 NSCT 分别将玉米种子的图像进行分解,各得到 1 个低频子带和 4 个高频子带。
- 2) 将得到的 2 个低频子带系数与 2 个高频子带系数分别通过各自的双通道 PCNN 进行计算融合,得到全新的低频子带系数和高频子带系数。
- 3) 通过 NSCT 反变换得到最终的图像。

根据戴进墩等^[19]的研究,在计算高低频子带融合系数时,需要使用不同的链接强度系数。高频子带融合时,选取张新伟等^[20]的关于 PCNN 链接系数 β 的计算方法;由于低频子带系数本身基本可以反映源图像像素的分布特点,所以低频子带融合时直接使用子带自身系数作为链接强度系数。

2 玉米种子机械裂纹的检测

为判断基于双通道 PCNN 方法的有效性,引用典型评价指标^[21],即图像熵、相关熵、相关系数、均方根误差,并选用 LoG^[22]、DWT、NSCT 和 PCNN

方法作对比,对‘凤甜 11’玉米种子进行裂纹检测。通过多次不同参数组合试验比较,将双通道 PCNN 参数设置为: $\sigma=1$, $\alpha_E=0.01$, $V_E=5000$, $\gamma=\alpha_E$, $\beta^1=\beta^2=1$, $f^1(\cdot)=f^2(\cdot)=Y[n-1] \otimes K$, 其中 \otimes 表示卷积运算,且

$K=[0.109\ 1\ 0.140\ 9\ 0.109\ 1; 0.140\ 9\ 0.140\ 9\ 0.109\ 1\ 0.140\ 9\ 0.109\ 1]$ 。各算法均在 Matlab 2017b 环境下实现。检测结果列于表 1。

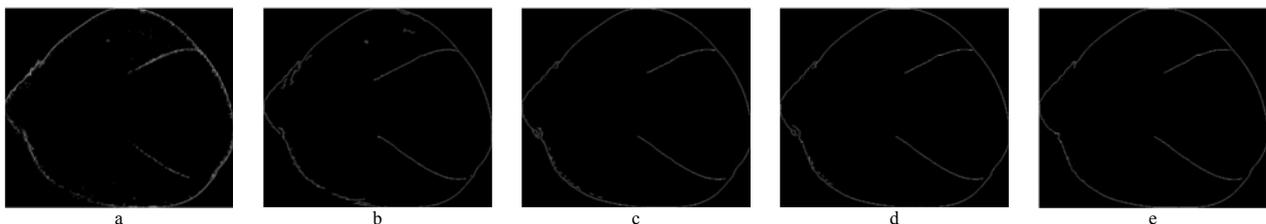
表 1 不同算法对‘凤甜 11’玉米种子裂纹检测的结果

检测方法	准确率/%	图像熵	相关熵	相关系数	均方根误差	运行时间/s
LoG	89.6	0.083 7	1.181 2	0.817 5	0.824 4	0.588 4
DWT	90.0	0.154 2	1.198 3	0.847 1	0.884 0	1.629 0
NSCT	93.5	0.196 7	0.632 2	0.898 3	0.844 6	3.653 6
PCNN	95.6	0.205 1	1.396 2	0.918 6	0.674 9	10.554 4
双通道 PCNN	97.2	0.351 1	1.731 4	0.983 5	0.526 3	14.900 7

表 1 结果表明,双通道 PCNN 方法检测准确率最高,LoG 方法的准确率最低;双通道 PCNN 方法图像熵为 0.351 1,远高于对比检测方法,是 LoG 的 4.19 倍,是 PCNN 的 1.78 倍;双通道 PCNN 方法相关熵是 NSCT 的 2.74 倍,是 PCNN 的 1.24 倍;双通道 PCNN 相关系数比 LoG、DWT、NSCT 和 PCNN 分别高出 0.166 0、0.136 4、0.085 2、0.064 9;双通道 PCNN 均方根误差最小,仅为 DWT 的 59.5% 和 PCNN 的约 77.9%;双通道 PCNN 的运行时间长于各对比检测方法的运行时间。

不同算法对玉米种子轮廓与机械裂纹检测效果如图 3 所示。LoG 的检测效果最差,玉米种子的边缘像素断开,并且出现较多的噪声(图 3-a),这主要是因为 LoG 是基于梯度图像模值大小进行检测的,在平滑的同时容易导致对比度下降;PCNN 检测的效果要略好于 LoG 的(图 3-b),但在玉米种子

边缘内部的非裂纹处出现了较多的虚假边缘,可能是因为未改进 PCNN 数学模型的神经元外部激励只有 1 个,进行融合操作时使用双层 PCNN 模型,增加计算复杂度的同时引入了噪声;DWT 和 NSCT 的检测效果(图 3-c 和图 3-d)好于前两者,没有噪声出现,玉米种子边缘也很整齐,没有出现断开的现象,但在靠近种脐的部位还是出现了少量虚假边缘;与其他检测方法比较发现,基于双通道 PCNN 的检测方法的检测效果(图 3-e)较理想,籽粒轮廓清晰光滑,裂纹完整,在种脐附近的虚假边缘最少,优于原始灰度图像的检测结果,这主要是由于双通道 PCNN 模型中神经元的外部激励通道由原来的 1 个变为了 2 个,图像融合过程中不再需要借助复杂的 PCNN 模型,一定程度上简化了计算,使得改进后的双通道 PCNN 检测方法更有效。



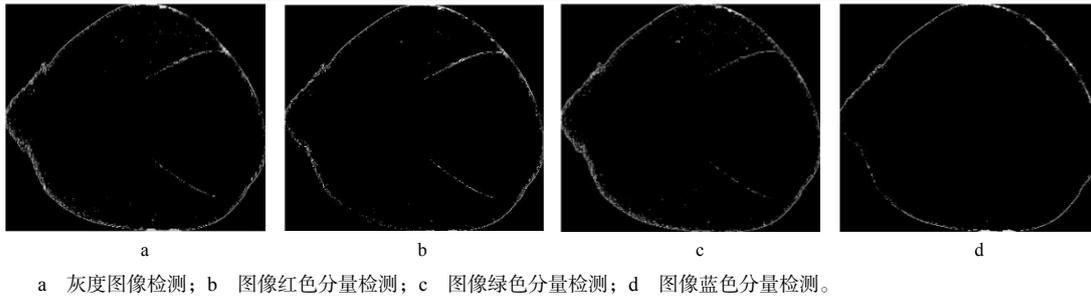
a LoG; b PCNN; c DWT; d NSCT; e 双通道 PCNN。

图 3 不同算法对玉米种子轮廓和机械裂纹的检测效果

Fig.3 Test results of the profile and the mechanical cracks for corn seeds by different algorithms

使用 Canny 算子^[23]对存在机械裂纹的玉米种子

灰度图像的各分量图像进行处理,结果如图 4 所示。



a 灰度图像检测; b 图像红色分量检测; c 图像绿色分量检测; d 图像蓝色分量检测。

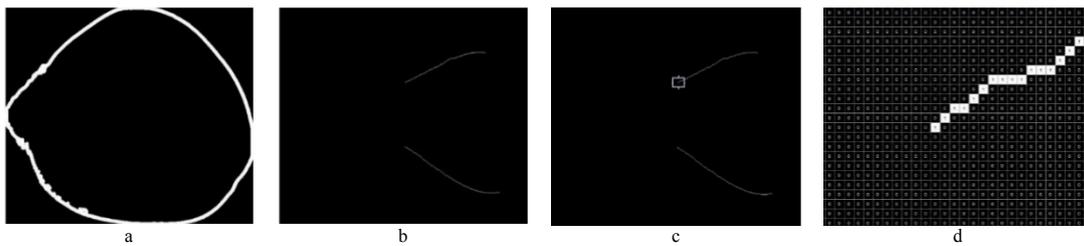
图 4 Canny 检测玉米种子图像 R、G、B 分量结果

Fig.4 Detection results of R, G and B components for corn seeds based on Canny

从图 4 中可以看出,玉米种子灰度图像的蓝色分量检测结果只检测到种子的边缘轮廓,而不能检测到玉米种子内部的机械裂纹,如图 4-d 所示。对比图 3-e 和图 4-d 发现,可以通过 2 幅图像的相减去除玉米籽粒轮廓线,得到玉米籽粒的机械裂纹。

图 3-e 中的玉米籽粒轮廓线与图 4-d 中的轮廓线并不完全一样,前者的轮廓线更加精确,轮廓线两侧散落的像素点更少,如果 2 幅图像直接进行相

减运算,只能去除后者的部分边缘。为更好地提取玉米种子的机械裂纹,运用数学形态学对图 4-d 的轮廓线进行膨胀操作,结果如图 5-a 所示。膨胀后的图像能够完全覆盖图 3-e 中轮廓线两侧散落的像素点。这时再对两图像进行相减运算就可以将图 3-e 中的玉米籽粒轮廓线全部删除,得到对应玉米种子存在的机械裂纹,如图 5-b 所示。



a 图 4-d 膨胀处理后; b 机械裂纹曲线; c 机械裂纹端点; d 裂纹端点像素值。

图 5 玉米种子机械裂纹的提取及检测

Fig.5 Extraction and detection of mechanical cracks in corn seeds

根据数字图像知识可知,图 5-b 是二值图像,其中黑色部分的像素值为 0,机械裂纹部位的像素值为 1。对机械裂纹端点部位(图 5-c)进行放大处理,如图 5-d 所示。从图 5-d 中可以看出,在机械裂纹曲线的内部像素值为 1 的点都联通在一起并形成一个通域。根据机械裂纹二值图像的这一性质,运用 Matlab 2017b 统计二值图像内部连通区域个数,即可得到对应玉米种子存在的机械裂纹数量。

随机选取 50 粒玉米种子,分别采用双通道 PCNN 方法和人工计数方法统计机械裂纹数量,并进行 3 次重复。结果,双通道 PCNN 方法和人工计数方法统计得到的机械裂纹数量分别为 62.3 条和 62 条,两者几乎相等,说明所建立的基于双通道 PCNN 方法的有效性较高。

3 结论与讨论

针对玉米种子机械裂纹检测准确率低的问题进

行研究,提出了基于双通道 PCNN 的数据融合检测方法。双通道 PCNN 方法的机械裂纹检测准确率最高为 97.5%,高于 NSCT(93.5%)、DWT(90.0%)、LoG(89.6%)和 PCNN(95.6%)方法的检测结果;双通道 PCNN 方法的图像熵、相关熵、相关系数、均方根误差分别为 0.351 1、1.731 4、0.983 5 和 0.526 3,优于各对比检测方法的检测效果。

双通道 PCNN 检测方法的运行时间为 14.900 7 s,远长于各对比算法,可能是双通道 PCNN 模型在高频子带融合时的链接强度系数 β 计算的复杂性导致计算效率降低,使得运行时间增加,后续将进一步简化高频子带融合过程中链接强度的计算方法,缩短运行时间。

参考文献:

- [1] 张新伟. 玉米种子内部机械裂纹特征与识别研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.

- [2] 张新伟, 高连兴. 玉米内部机械裂纹对种子发芽和幼苗发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(4): 69-74.
- [3] 张新伟, 易克传, 刘向东, 等. 玉米籽粒机械裂纹产生机理及影响因素分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(5): 59-63.
- [4] CETIN A E, PEARSON T C, TEWFIK A H. Classification of closed- and open-shell pistachio nuts using voice-recognition technology[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(2): 659-664.
- [5] OMID M, MAHMOUDI A, OMID M H. Development of pistachio sorting system using principal component analysis(PCA) assisted artificial neural network(ANN) of impact acoustics[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(10): 7205-7212.
- [6] INCE N F, GOKSU F, TEWFIK A H, et al. Discrimination between closed and open shell(turkish) pistachio nuts using undecimated wavelet packet transform[J]. Biological Engineering, 2008, 2(2): 159-172.
- [7] PING L, CHEN Y, BAO Y, et al. Image detection of rice fissures using biorthogonal b-spline wavelets in multi-resolution spaces[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(5): 2017-2024.
- [8] 王毅, 刘波, 熊龙焯, 等. 基于深度学习的果园道路导航线生成算法研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(6): 674-678.
- [9] 李衡霞, 龙陈锋, 曾蒙, 等. 一种基于深度卷积神经网络的油菜虫害检测方法[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(6): 560-564.
- [10] 余克强, 赵艳茹, 李晓丽, 等. 基于高光谱成像技术的鲜枣裂纹的识别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(2): 532-537.
- [11] 黄文倩, 李江波, 张驰. 高光谱成像技术和主成分分析识别玉米籽粒的胚[J]. 农业工程学报, 2012, 28(S2): 243-247.
- [12] 李江波, 饶秀勤, 应义斌. 农产品外部品质无损检测中高光谱成像技术的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2011, 31(8): 2021-2026.
- [13] 张新伟, 赵学观, 张健东, 等. 基于数据融合的玉米种子内部机械裂纹检测方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 136-141.
- [14] 张新伟, 易克传, 刘向东, 等. 玉米自动化拷种过程的粘连籽粒图像分割[J]. 中国农业大学学报(自然科学版), 2018, 23(10): 144-151.
- [15] 姜文斌, 孙学宏, 刘丽萍. 基于离散小波变换和梯度锐化的遥感图像融合算法[J]. 电光与控制, 2020, 27(5): 47-51.
- [16] 刘哲, 徐涛, 宋余庆, 等. 基于 NSCT 变换和相似信息鲁棒主成分分析模型的图像融合技术[J]. 吉林大学学报(工学版), 2018, 48(5): 1614-1620.
- [17] 樊蒙蒙. 基于 PCNN 和凹点的粘连大米图像分割[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019.
- [18] 李甜甜, 林栅玲, 林志贤, 等. 基于人眼视觉的电润湿电子纸图像分层映射技术研究[J]. 计算机技术与应用, 2020, 46(3): 86-91.
- [19] 戴进墩, 刘亚东, 毛先胤, 等. 基于 FDST 和双通道 PCNN 的红外与可见光图像融合[J]. 红外与激光工程, 2019, 48(2): 1-8.
- [20] 张新伟, 易克传, 高连兴. 基于脉冲耦合神经网络的粘连玉米种子图像分割[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(3): 208-215.
- [21] 马义德, 李廉, 绽昆. 脉冲耦合神经网络与数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [22] 杨德武, 晏子旭, 杜志强, 等. 基于 LoG 算子边缘检测算法的冠状动脉 CT 血管造影图像质量优化研究[J]. 中国医学装备, 2020, 17(12): 33-36.
- [23] 杨先凤, 吴媛媛, 赵玲. 基于 Canny 改进算子的油管裂纹检测算法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(3): 798-803.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立