

文章编号 1004-924X(2007)06-0951-06

基于形态特征的玉米种子表面裂纹检测方法

张俊雄, 荀 一, 李 伟

(中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要:采用数字图像处理技术实现了对玉米种子表面裂纹的识别和检测。选择冷阴极荧光灯(CCFL)设计了图像采集的光照环境,建立了玉米种子图像的采集系统,然后针对玉米种子图像提出了一种基于籽粒形态学特征的表面裂纹检测方法。该方法采用水平和垂直边缘检测算子处理得到裂纹、种子边界和噪声等边缘信息;然后通过玉米籽粒的形态特征寻找其尖端位置,并使用图像代数运算的方法去除大部分非裂纹信息;最后根据裂纹的长度和位置特征提取得到裂纹,并计算裂纹的绝对长度和相对长度。对农大 4967 和农大 3138 两个品种的玉米分别选取裂纹粒和无裂纹粒各 50 粒进行图像识别,试验结果表明:识别准确率分别为 94%和 90%,基本满足玉米种子表面裂纹检测的精度要求。

关键词:计算机视觉;图像处理;玉米种子;表面裂纹;形态学

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Detection of surface cracks of corn kernel based on morphology

ZHANG Jun-xiong, XUN Yi, LI Wei

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The surface crack identification and detection of a corn kernel are studied based on digital image processing. Cold Cathode Fluorescent Lamps(CCFL) are chosen to construct the image capturing illumination environment, and a set of image acquisition system of the corn kernel is established. Then, a surface crack detection method is developed based on morphology of the corn kernel. A binary image including the cracks, boundary and noises is picked up with horizontal and vertical Sobel operators. Then, a majority of non-crack information is eliminated by image subtraction after finding the tip of the corn kernel using its morphology. Finally, the cracks are extracted and the absolute and relative lengths of cracks are calculated according to the crack length and position. A detecting experiment is carried out by 50 kernels with cracks and 50 kernels without cracks selected from NongDa-4967 and NongDa-3138 (two novel varieties of corn seed developed by China Agricultural University) respectively. The results indicate that the detecting accuracy are 94% and 90%. It can meet the requirement of the accuracy of surface crack detection of corn kernel.

Key words: computer vision; image processing; corn kernel; surface crack; morphology

收稿日期:2006-10-09;修订日期:2006-11-18.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 30471011);高校博士点基金资助项目(No. 20050019005)

1 引言

玉米籽粒产生裂纹后会影响到淀粉出率,不能用来加工玉米片等食品,同时在储存时裂纹粒吸湿性强,易于引起发热和遭受害虫及霉菌的侵袭,对于种子还会影响到种子的发芽率,即使作为饲料原料也必须严格限制玉米的裂纹率。

常规的玉米裂纹检测方法主要有光照法、化学法、射线法等。这些方法过程复杂、耗时,而且化学法、射线法等是破坏性检测,不适用于对所有样品进行检测。近年来,数字图像处理技术已经广泛用于各类产品的质量检测和控制在,同时也逐渐成为物体表面裂纹检测的一种有效办法,在混凝土表面裂纹检测、管道的表面裂纹检测、玻璃瓶裂纹检测等领域得到了广泛应用^[1-4]。利用计算机视觉数字图像处理技术可以实现产品的无损检测,而且具有非接触、快速、柔性等优点,这为玉米种子的裂纹检测提供了一种新的途径。朱文学利用扫描电子显微镜观察玉米籽粒的应力裂纹,分析了裂纹在胚乳中扩展的情况以及对胚乳结构产生的影响^[5]。Gunasekaran S. 采用商业视觉系统采集玉米籽粒图像,研究了一种种子内部裂纹的识别方法^[6]。这些方法大多在实验室的条件下对玉米种子的内部裂纹进行检测,要求较高的实验技术与设备,难以推广到实际中去。本文研究了采用计算机视觉的玉米种子表面裂纹图像识别方法,设计了玉米籽粒的图像采集系统和光照环境,对玉米籽粒图像先通过边缘提取再利用籽粒的形态学特征实现了裂纹的自动提取和测量,对于玉米裂纹的检测具有一定的理论意义和工程实用价值。

2 材料和方法

2.1 试验材料

选取中国农业大学培育的玉米品种农大 4967 和农大 3138 为研究对象。图 1 为玉米籽粒的形态结构图。 O 为形心, T 为尖端,线段 TP 过形心 O 为种子的长轴;宽的一端为冠部,较尖的一端为脐部;定义胚朝上的一面为种子正面,另一面为背面。其中形心 O 的坐标 (O_x, O_y) 计算公式为:

$$O_x = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} x \quad O_y = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} y, \quad (1)$$

其中 R 为图像中所有属于种子的像素集, A 为种子像素集中像素的总数,表征种子图像的面积, (x, y) 为像素点坐标。

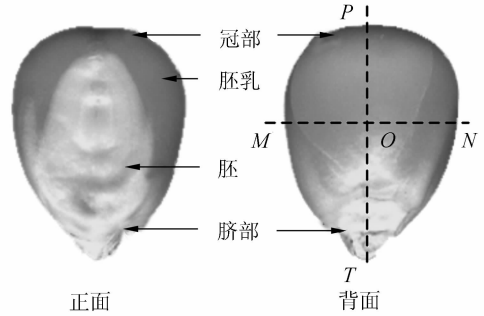


图 1 玉米籽粒的形态结构图

Fig. 1 Profile of corn kernel

2.2 图像采集系统构建

图 2 是玉米籽粒图像采集系统示意图。该系统由摄像机、图像采集卡、计算机、照明室、光源、载物台等组成。摄像机采用嘉恒中自图像技术有限公司的 OK_AC1300 高分辨率彩色 CCD 摄像机。图像采集卡采用嘉恒中自图像技术有限公司的 OK_RGB10B 彩色 RGB 分量采集卡,基于 PCI 总线结构,安装在计算机内。照明室截面为圆弧形,上方开孔以便摄像机进行图像采集。照明室内壁为亚白色,光源对称均布在内壁上。载物台用黑色橡胶板经磨沙处理后作背景。玉米籽粒平放在载物台上,采集系统经标定后采用空间分辨率为 0.10 mm/pixel 进行图像采集。

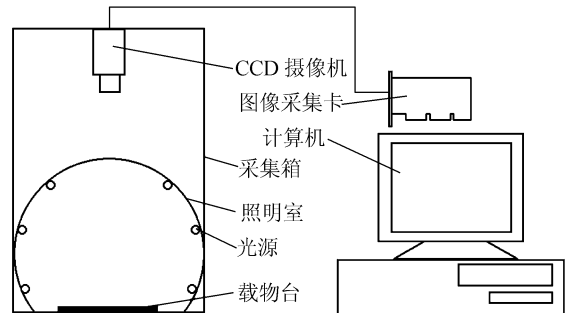


图 2 玉米籽粒图像采集系统

Fig. 2 Image acquisition system of corn kernel

2.3 光源分析

光源是影响图像质量的一大因素。常用的机器视觉光源有 LED、荧光灯、卤素灯等。文中分别对环形 LED 灯、直流卤素灯、高频荧光灯和

CCFL 四种光源进行了对比试验。

由于玉米籽粒长宽高比例相差较小,而且表面光亮,容易产生反光,采用卤素灯照明时由于点光源的卤素灯方向性强,即便使用多个卤素灯,图像中的阴影也难以消除,而且鲁棒性较差,对玉米籽粒的摆放位置敏感度较大,所以不适合选择该光源。

此外,为了进一步适应后续在动态中在线检

测玉米表面裂纹,要求光源必须具有良好的稳定性。针对以上四种光源,通过试验对比了其稳定性。试验方法如下:调节摄像机的快门为 $1/500$ s,在不同光源的光照环境下,使用帧速为 20 fps 连续采集 65 帧清晰的背景图像,图像经灰度化处理之后分别计算其平均灰度值。试验结果如图 3 所示。

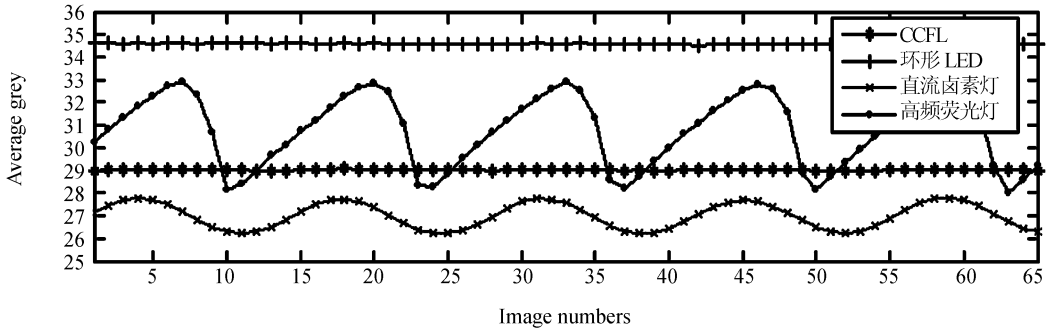


图3 光照效果比较

Fig. 3 Comparison of illumination

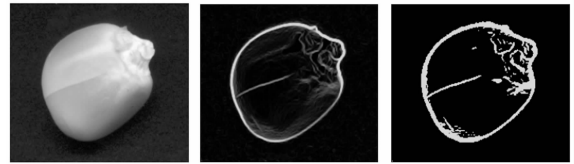
由图 3 可见,使用高频荧光灯和直流卤素灯照明的稳定性较差。虽然高频荧光灯的频闪频率远高于摄像机快门的速度,但仍呈现出明显的波动性,图像平均灰度值波动范围在 5 个单位左右,这将增加图像处理的难度。环形 LED 和 CCFL 的照明效果非常理想,图像平均灰度值波动范围在 0.2 个单位以内,但环形 LED 光源价格较为昂贵,使用上将很大程度增加设备的成本。相比之下 CCFL 价格较低,而且具有发热量低、发光效率高、色彩还原性好、寿命长、安装方便等优点。因此,本文选择 CCFL 作为照明光源。

3 表面裂纹识别算法

3.1 边缘检测和图像分割

经过统计,种子籽粒表面的裂纹大多出现在种子背面,且种子尖端脐部附近区域出现裂纹的概率较低。因此,在采集种子图像时,将种子放置于载物台上,并使种子胚部向上,种子之间彼此不接触。如图 4(a)所示是采集到的单粒玉米籽粒图像。

由图 4(a)可知,玉米种子表面的裂纹体现在图像上是 R 通道图像的灰度值在裂纹两侧发生



(a)原图像

(b)边缘图像

(c)分割后的边缘图像

(a)primary image

(b)edge of

(c)edge after

corn kernel

thresholding

图4 玉米籽粒及其边缘图像

Fig. 4 Images of corn kernel and their edge

突变,利用边缘检测的方法可将裂纹识别出来。对于方向随机性较强的边缘有多种算子可以进行增强和检测^[7-10],本文分别采用水平和垂直方向的 Sobel 算子,基于 R 通道对图像进行边缘检测,计算公式为:

$$E_x(i, j) = OP_x \otimes I(i, j)$$

$$E_y(i, j) = OP_y \otimes I(i, j), \quad (2)$$

其中, $I(i, j)$ 为 R 通道原始图像, OP_x, OP_y 分别为水平和垂直方向 Sobel 算子, $E_x(i, j), E_y(i, j)$ 为输出图像。边缘检测的最后检测结果是 $E_x(i, j)$ 和 $E_y(i, j)$ 的组合,计算公式为:

$$E(i, j) = \max(E_x(i, j), E_y(i, j)), \quad (3)$$

其中 $E(i, j)$ 为最后检测的结果, 如图 4(b) 所示。基于 R 通道对 $E(i, j)$ 进行阈值分割后得到如图 4(c) 所示结果。

3.2 种子尖端部分非裂纹目标的去除

在图 4(c) 中, 玉米种子尖端脐部附近存在着大量的非裂纹目标, 这将会影响裂纹的识别和提取, 需要将其去除。去除的方法为: 以种子的尖端点为圆心, 减去半径为 r 的圆形区域, 即位于该圆内的像素点将视为背景像素点。

3.2.1 种子尖端点的确定

宁纪峰根据玉米籽粒尖端比其他部分尖锐的特点, 通过曲率变化找到尖端点的位置^[11]。但这种算法对具有较尖锐边界或尖端特征不明显的种子不能进行有效的尖端点识别。权龙哲则根据种子外边界上各点到形心距离的分布特点, 利用小波变换获取尖端点的位置^[12], 但计算复杂度较大。

通过对玉米籽粒图像的分析可知, 在 B 通道中, 种子尖端附近的白色区域与其他部分有着较大的灰度级差。本文利用此特点, 结合种子的形心坐标, 提出一种简单的确定玉米种子尖端点位置的方法。首先基于 B 通道对图像进行阈值分割, 然后利用 4×4 模板对分割的结果先后进行腐蚀和膨胀处理, 去除某些离散点的干扰。处理的结果如图 5(a) 所示, 并将所有目标像素点集合记为 R_B 。种子尖端点 T 取为 R_B 中距离种子形心点 O 距离最大的点, 计算公式为:

$$|TO| = \max(|OR_i|) \quad R_i \in R_B, \quad (4)$$

其中 $|TO|$ 为种子尖端点 T 到种子形心点 O 的距离, $|OR_i|$ 为集合 R_B 中的点 R_i 到种子形心点 O 的距离。

3.2.2 半径 r 的确定

计算图像 5(a) 的形心坐标 O_B , 并提取轮廓得到图 5(b) 所示的图像。计算轮廓上各点到尖端点 T 的距离 L_i , 通过以下公式确定半径 r 。

$$r = \frac{1}{N} \sum L_i \quad (L_i > |TO_B|), \quad (5)$$

其中 $|TO_B|$ 为尖端点到形心 O_B 的距离, N 为 L_i 大于 $|TO_B|$ 的像素点个数。

将图 4(c) 的种子边缘图像减去以尖端点 T 为圆心, r 为半径的圆形区域, 得到如图 5(c) 的图像。该图像中已经去除了玉米种子脐部的大量非裂纹信息。



(a) 基于 B 通道分割并腐蚀、膨胀后的图像 (b) (a) 的轮廓 (c) 去除尖端部分后的种子边缘

(a) B channel image after segmentation, dilation and erosion (b) contours of (a) (c) edge after removing the top region

图 5 去除种子尖端非裂纹信息干扰

Fig. 5 Removing non-cracks on the top of corn kernel

3.3 种子轮廓的去除

从图 5(c) 可以看出, 为了提取裂纹还需去除种子的外轮廓。首先基于 R 通道提取种子的轮廓, 然后利用 3×3 的模版对其进行两次膨胀运算, 得到图 6(a) 所示的图像。同时, 对图像 5(c) 进行细化处理, 得到图 6(b) 所示的骨架化图像。对图 6(a) 和图 6(b) 进行减运算, 结果如图 7(c) 所示。大部分的种子轮廓线已被去除。



(a) 膨胀后的种子轮廓 (b) 图 5(c) 骨架化的图像 (c) (a)-(b) 的结果

(a) dilated contour of corn kernel (b) skeletonization of Fig. 5(c) (c) result of (a)-(b)

图 6 去除种子轮廓图像

Fig. 6 Removing contour of corn kernel

3.4 裂纹的提取

根据 GB/T16714-1996 中的规定“发现玉米粒的胚乳有裂痕或粒上有裂纹长度达到粒长 $1/2$ 以上者, 均属裂纹”, 结合图像的分辨率, 将图像中连通且满足以下两个准则的目标定义为裂纹: (1) 目标像素点的个数大于 15; (2) 目标上所有的点到种子尖端点 T 的距离的平均值 \bar{L} 大于 $\frac{3}{2}|TO|$ 。

对图 6(c) 中的每一个连通目标进行区域标

记,并记录每一个连通目标的像素点个数 N_i 。若 $N_i < 15$,则认为该目标不是裂纹,将其像素点视为背景像素点。若 $N_i \geq 15$,则计算目标上所有的点到种子尖端点的距离的平均值 \bar{L} ,如果 $\bar{L} < \frac{3}{2}|TO|$,说明这一目标位于种子上靠近端部的一侧,认为不是裂纹,将其去除。图7为裂纹提取的结果。

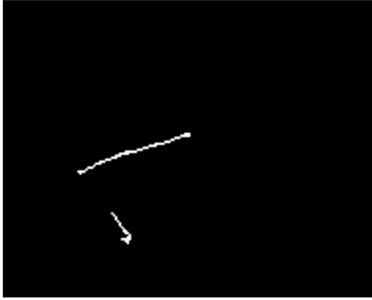


图7 裂纹的提取结果
Fig.7 Extracted cracks

3.5 裂纹的绝对长度和相对长度

跟踪扫描图7,得到图像中目标的个数 n 及其长度 l_i 。在种子轮廓像素点的去除的过程中,表面裂纹的少部分也被去除,因此需要对长度值 l_i 进行修正。由于使用了 3×3 的模板对种子轮廓线进行二次膨胀,裂纹上靠近种子轮廓的两个像素点被删除,修正公式为 $l_i + 2$ 。表面裂纹线的绝对总长度为:

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_i + 2n, \quad (6)$$

相对长度为:

$$c = \frac{l_c}{l}, \quad (7)$$

其中 l 为种子的长轴。 c 值越大,说明种子表面裂纹程度越严重。

4 结果与分析

人工选取农大4967和农大3138两个品种的裂纹种子和无裂纹种子各50粒,利用上述方法对其籽粒进行裂纹识别,统计正确识别裂纹粒的准确率和错误将无裂纹粒识别为裂纹粒的误判率,统计结果如表1所示。

表1 表面裂纹的识别结果

Tab.1 Detecting results of surface cracks

品种	裂纹粒		无裂纹粒	
	粒数	准确率(%)	粒数	误判率(%)
农大4967	47	94	4	8
农大3138	45	90	1	2

由表1可见,对农大4967的裂纹识别准确率达94%,误判率为8%;对农大3138的裂纹识别准确率达90%,误判率为2%。分析影响识别准确率的原因主要是少部分籽粒的裂纹出现在其他表面上。而造成误判的原因则包括籽粒的畸形、表面有污物等。

5 结论

本文根据玉米籽粒的形态学特征,结合尖端附近的颜色信息,准确识别出种子的尖端位置。采用去除尖端区域的方法消除了尖端附近的非裂纹目标的影响。通过分析裂纹长度和位置的特征有效地提取得到裂纹目标,并计算出绝对长度和相对长度。对农大4967和农大3138品种的玉米籽粒进行了有裂纹粒和无裂纹粒的识别,准确率分别为94%和90%。试验证明该方法对于玉米裂纹的检测具有一定的理论意义和工程实用价值。

参考文献:

- [1] IYER S, SINHA S K. A robust approach for automatic detection and segmentation of cracks in underground pipeline images [J]. *Image and Vision Computing*, 2005, 23(10): 921-933.
- [2] SINHA S K, FIEGUTH P W. Automated detection of cracks in buried concrete pipe images [J]. *Automation in Construction*, 2006, 15(1): 58-72.
- [3] AMMOUCHE A, RISS J, BREYSSE D, et al.. Image analysis for the automated study of microcracks in concrete [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2001, 23:267-278.

- [4] 李玉兰,林绪虹,刘桂雄. 正交设计方法在优化空瓶检测图像处理参数中应用[J]. 光学精密工程, 2005, 13(增): 207-211.
LI Y L, LIN X H, LIU G X. Application of orthogonal design in optimizing parameters for the image processing of empty bottle detection system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(Supp.): 207-211. (in Chinese)
- [5] 朱文学,曹崇文. 玉米应力裂纹的显微分析[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 98-202.
ZHU W X, CAO CH W. Microscopic structure analysis on stress cracks in corn [J]. *Transactions of the Chinese of Agricultural Engineering*, 1998, 14(2): 198-202. (in Chinese)
- [6] GUNASEKARAN S, COOPERT M, BERLAGE A G, *et al.*. Image Processing for Stress Cracks in Corn Kernels [J]. *Trans of the ASAE*, 1987, 28(1): 266-271.
- [7] BHANDARKAR S M, LUO X, DANIELS R, *et al.*. Detection of cracks in computer tomography images of logs [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, 26(14): 2282-2294.
- [8] 林玉池,崔彦平,黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(3): 509-514.
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 509-514. (in Chinese)
- [9] 乌旭,胡家升,梁殿亮. 基于区域分割的指纹奇异性检测及中心点计算[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2): 229-235.
WU X, HU J SH, LIANG D L. An algorithm for singularity detection and center point calculation based on finger-print segmentation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2): 229-235. (in Chinese)
- [10] GIAKOUMIS I, NIKOLAIDIS N, PITAS I. Digital image processing techniques for the detection and removal of cracks in digitized paintings[J]. *Transactions on Image Processing*, 2006, 15(1): 178-188.
- [11] 宁纪峰,何东健,杨蜀秦. 玉米籽粒的尖端和胚部的计算机视觉识别[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 117-119.
NING J F, HE D J, YANG SH Q. Identification of tip cap and germ surface of corn kernel using computer vision [J]. *Transactions of the Chinese society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(3): 117-119. (in Chinese)
- [12] 权龙哲,马小愚. 基于小波分析的玉米籽粒图像正形研究[J]. 农机化研究, 2006, 2: 154-156.
QUAN L ZH, MA X Y. Adjusting the shape of corn kernels based on wavelet analysis [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2006, 2: 154-156. (in Chinese)

作者简介:张俊雄(1979—),男,广东台山人,中国农业大学在读博士研究生,主要从事图像处理、计算机视觉检测技术等方面的研究。E-mail: zhang_junxiong@163.com