



寇 森, 邹媛媛, 李广伟. 玉米育种激光切割采样视觉检测方法研究[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(1): 116-119.

玉米育种激光切割采样视觉检测方法研究

寇 森^{1,2}, 邹媛媛³, 李广伟^{1,2}

(1 中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2 中国科学院大学, 北京 100049;
3 沈阳建筑大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:【目的】引入机器视觉技术引导激光切割玉米种子, 实现玉米育种行业分子标记辅助育种采样的自动化。【方法】设计基于视觉的玉米粒形质量检测和姿态识别系统, 提出玉米粒形质量检测和姿态识别算法: 首先, 根据提取的玉米粒形特征参数, 剔除粒形尺寸不合格的玉米种子, 然后, 计算合格玉米种子的姿态, 以便姿态调整装置将种子调整到理想切割姿态。【结果】算法处理时间约 0.6 s, 姿态角平均绝对误差 2.00°, 满足使用的精度要求。【结论】该方法有助于实现玉米分子标记辅助育种中的激光自动切割采样。

关键词:玉米育种; 激光切割; 视觉检测; 图像处理; 分子标记
中图分类号:S331; TP23 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2017)01-0116-004

Study on visual inspection for sampling using laser cutting in corn breeding

KOU Miao^{1,2}, ZOU Yuanyuan³, LI Guangwei^{1,2}

(1 Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3 School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract:【Objective】To cut corn seed using laser guided by machine vision technology, and to automate sampling of molecular marker-assisted corn breeding. 【Method】A system for quality inspection and posture recognition based on machine vision was designed. An algorithm was developed to inspect the shape quality and posture of corn seeds. The characteristic parameters of corn seeds were extracted to estimate if the corn seeds were qualified or not, the unqualified ones were removed, and the postures of the qualified ones were calculated so that the posture adjustment device could adjust each seed to the ideal cutting position. 【Result】The time of algorithm process was about 0.6 s and the mean absolute error of attitude angle was 2.00°, which met the actual precision requirements. 【Conclusion】This method is helpful to realize the automation of sampling using laser cutting in molecular marker-assisted corn breeding.

Key words:corn breeding; laser cutting; visual inspection; image procession; molecular marker

玉米是世界三大粮食作物之一, 玉米生产发展的速度决定着我国畜牧业和肉类产业的发展^[1-2], 选择适合的玉米优良品种是直接关系到其产量的关键问题。分子标记辅助育种作为现代作物育种方法被

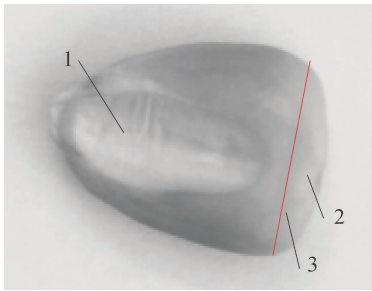
收稿日期: 2016-05-11 优先出版时间: 2016-12-28
优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20161228.0922.016.html>
作者简介: 寇 森 (1991—), 女, 硕士, E-mail: koumiaosia@sia.cn; 通信作者: 邹媛媛 (1985—), 女, 副教授, 博士, E-mail: yyzou@sjzu.edu.cn
基金项目: 国家自然科学基金 (51405481); 辽宁省自然科学基金 (2014020084); 辽宁省农业攻关及成果产业化项目 (201404236)

应用于玉米育种,从每一粒玉米种子切取少许胚乳作为样品进行滴定、检测、筛选,将含有完整胚芽的种子保留用于作物种植,从而大大提高玉米育种效率、节约成本^[3-6]。分子标记辅助玉米育种技术的研究中,种子切片通常采用人工制作,但手工制取种子切片的方法效率十分低下,准确率也无法保证^[7-8]。因此,将高精度激光自动切割技术应用于玉米育种,实现自动化采样,有助于提高育种的效率和质量^[9-10]。在玉米育种激光切片自动化采样中,一方面由于玉米种子外形尺寸差异大,需要对玉米种子外形质量进行检测,筛选出尺寸合格的种子进行切割,另一方面需要在线识别出种子的姿态,使种子具有一种确定的、已知的姿态,以便进行精确的切割^[11-12]。

本文通过对玉米外形特征进行分析,设计基于机器视觉的玉米粒形质量检测和姿态识别系统,研究玉米粒形质量检测和姿态识别算法,基于图像区域特征,通过形态学图像处理算法和边缘跟踪算法提取出玉米的粒形轮廓,基于区域几何中心和轮廓搜索相结合的方法提取出玉米粒形特征参数,进行玉米粒形质量检测判断,剔除粒形尺寸不合格的玉米种子,计算粒形尺寸合格的玉米种子的姿态,以便姿态调整装置将种子调整到理想切割姿态。将该系统应用于玉米育种激光切片取样机器人,有助于实现玉米育种激光切片的自动化采样。

1 玉米特征参数

依据玉米分子标记辅助育种对切片质量的要求,玉米胚乳的切割位置为接近顶冠位置的直线,示意图见图1。



1:胚芽;2:胚乳;3:切割轨迹。

图1 玉米切割位置示意图

Fig.1 The position for laser cutting of a corn seed

为保证中国科学院沈阳自动化研究所自行研制的玉米育种激光切片取样机器人能够准确切割玉米种子的少许胚乳,并保留完整胚芽,需要通过视觉采

集系统获取玉米种子长轴长度 a 和方向、短轴长度 b 和方向以及轮廓等特征参数(图2)。

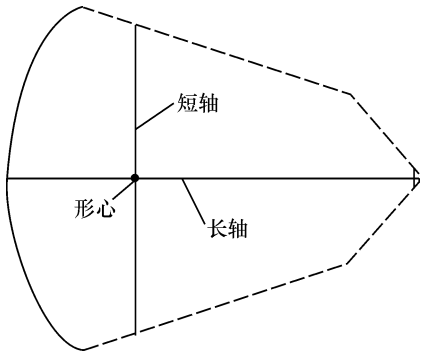


图2 玉米特征参数

Fig.2 Feature parameters of corn seed

依据获取的特征参数,通过计算获得面积、圆度、长宽比等特征参数^[13-14]。其中,面积 A 定义为玉米灰度图像的像素之和,即玉米颗粒轮廓线内包含的像素之和,是反映玉米大小的指标之一。图像经过区域标记和边界跟踪后,就可以计算若干轮廓参数。在一幅图像中,图像函数记为 $f(x,y)$, $f(I)$ 表示图像中某个轮廓区域像素点 I , n 表示图像中某个轮廓区域的像素个数。公式为:

$$A = \sum_{i=1}^n f(I),$$

圆形度 R 定义为玉米的边界形状接近圆的程度,是反映颗粒图像投影区域不规则性的参数,由面积 A 和周长 P 计算出来,其计算公式为:

$$R = 4\pi A/P^2。$$

长宽比 m 定义为长轴 a 与短轴 b 的比。

2 方法

2.1 视觉识别系统介绍

玉米育种激光切片取样机器人由6个系统组成,包括分离定向系统、激光器系统、切片系统、标准盘系统、控制系统、动力系统。其中,视觉识别系统属于分离定向系统,安装在姿态调整装置上方,包括相机和附加照明装置,用于种子外形质量检测和姿态识别。视觉系统识别算法流程见图3,视觉系统识别算法流程包括玉米外形质量检测和玉米姿态识别,具体工作过程为:由摄像机对玉米种子原始图像进行采集,根据采集到的图像信息分析玉米外形质量信息,如果视觉判断玉米外形质量不合格,则由手爪推到废料回收区域,之后计算玉米姿态,获得姿态调整参数。

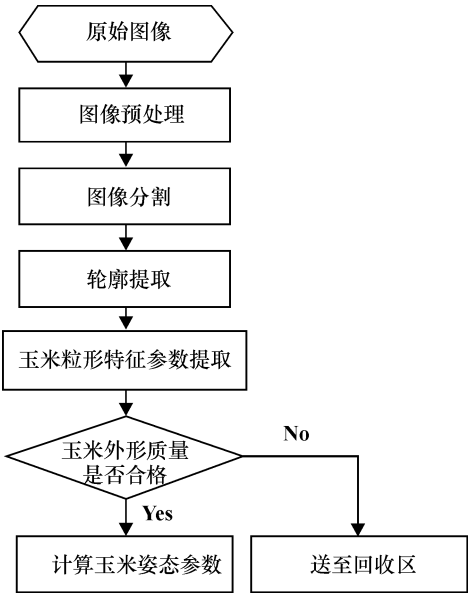


图 3 视觉识别算法流程

Fig. 3 Algorithm flow of visual identification

2.2 视觉识别图像处理

玉米通过上料装置送到指定位置进行视觉识别,因此玉米在图像中的位置相对固定,为了提高图像处理速度,可以首先依据图像灰度信息确定感兴趣区域,然后针对感兴趣区域图像,采用 5×5 模板的中值滤波算子进行滤波处理,去除相应噪声影响,完成对图像的预处理。中值滤波后的图像见图 4a。

基于大津阈值分割法 (OTSU) 对滤波后的图像二值化。OTSU 法也称为最大类间方差法或最小类内方差法,思路是基于图像的灰度直方图,以目标和背景类间方差最大或类内方差最小为阈值选取准则^[15]。基本流程是:设置处理图像由目标和背景组成,目标和背景灰度值不同,基于直方统计图像把灰度划分为 $1 \sim L$ 等级,从中选择阈值等级 K ,将图像分为目标(暗: $C_0 = 1 \sim K$)与背景(亮: $C_1 = K + 1 \sim L$),若 2 类的类间方差最大,则所求出的 K 为最佳阈值 K 。二值化的图像基于区域面积分割出玉米粒形部分,去掉图像中杂质影响,并利用形态学开闭运算,去除边缘噪声影响,处理结果见图 4b。

经过阈值分割后的玉米种子二值图像还存在一些噪声的干扰,进行形态学处理可以优化玉米种子轮廓,而且还能进一步消除图像中的噪声。形态学的闭运算能够使图像的区域缩小,并能够消除颗粒噪音,开运算能够使图像的轮廓变得更光滑。本系统采用 5×5 结构元素的闭运算和 5×5 结构元素的开运算对图像进行形态学处理。基于文献[15]中的

边缘跟踪算法,提取出二值图像中玉米的轮廓边缘,见图 4c。

长轴获取方法:首先, $0 \sim 180^\circ$ 范围内,每隔 1° 角度值所对应的斜率 $k_i (i = 1, 2, \dots, 180)$; 设边缘点坐标为 (x_j, y_j) , 形心坐标 (x_0, y_0) , 计算 $X_j = x_j - x_0$ 和 $Y_j = y_j - y_0$ 的值 ($j = 1, 2, \dots, n, n$ 为边缘点的个数); 令 $M_i = k_i X_j - Y_j$, 求 (X_j, Y_j) 中使 M_i 绝对值最小的 2 个点,记下这 2 个点所对应的边缘点的坐标 $(x1_i, y1_i), (x2_i, y2_i)$; 令 $L_i = (x1_i - x2_i)^2 + (y1_i - y2_i)^2$, 即计算两边缘点之间的长度,求出使 L_i 最大的 2 个点,这 2 点即为长轴两端点,2 点间距离即为长轴长度,此时所对应的斜率即为长轴的斜率。短轴过形心且垂直于长轴,求出长轴后即可据此求出短轴,见图 4d。

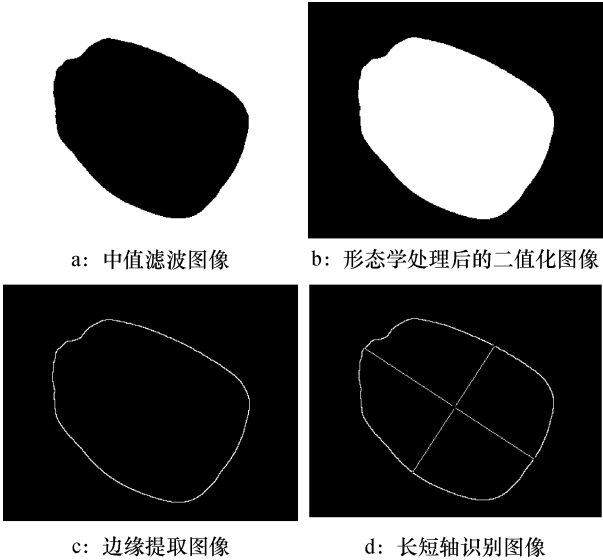


图 4 特征点提取算法流程

Fig. 4 Procedure of feature points extraction

2.3 粒形检测和姿态识别

依据提取出的玉米特征参数,在粒形检测中,以长度、面积、长宽比和圆形度为特征参数,依据切割要求设定判定参数,剔除掉尺寸不合格的玉米种子。在姿态识别中,计算长轴方向和水平方向的夹角,作为玉米种子当前姿态值。

3 结果与分析

视觉识别试验中,使用的设备有分辨率为 $1\,626 \times 1\,236$ 的 Basler 黑白摄像机、焦距为 8 mm 的 Computar 镜头、白色背光光源。根据前面提出的视觉识别方法,对 133 个玉米种子进行视觉识别试验,包括粒形质量检测试验和姿态识别试验。通过粒形检测试验,剔除掉不合格玉米种子 39 粒。合格玉米种子 94 粒,获得试验部分数据如表 1 所示。

表1 玉米特征的视觉识别试验测试数据

Tab.1 Experimental data of visual identification of corn features

特征	长度/像素	宽度/像素	面积/像素
最大值	250.57	168.34	33 006.0
最小值	190.39	119.82	18 552.0
平均值	215.37	145.35	25 467.0
均方差	13.23	11.91	3 026.8

对合格的玉米种子进行姿态识别,图5为识别的姿态角和实际姿态角对比。姿态角的误差范围为0~4°,平均绝对误差为2.00°,误差方差为1.19°,试验结果在允许误差范围之内,能够满足玉米切割条件需要。单纯一幅图像的处理时间为0.6 s左右,满足在线的切割时间要求(试验样机的切割速度要求为10个·min⁻¹)。

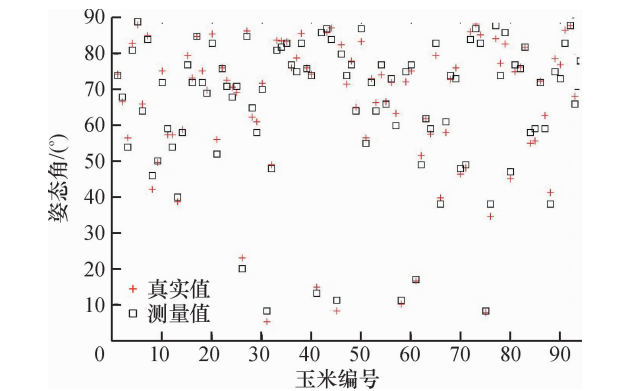


图5 姿态对比

Fig.5 Comparison of corn seed posture

4 结论

本研究结合自制样机设计了基于机器视觉的玉米粒形质量检测 and 姿态识别系统,提出了玉米粒形质量检测 and 姿态识别算法,基于图像区域特征,通过形态学图像处理算法和边缘跟踪算法提取出玉米的粒形轮廓,基于区域几何中心和轮廓搜索相结合的方法提取出玉米粒形特征参数,进行玉米粒形质量检测判断,剔除粒形尺寸不合格的玉米种子,计算粒形尺寸合格的玉米种子姿态,以便姿态调整装置将种子调整到理想切割姿态,姿态角平均绝对误差为2.00°,处理时间约0.6 s,试验结果表明本文提出的系统和方法能满足玉米育种激光切割的精度要求,同时也能满足在线检测需要(切割试验速度

10个·min⁻¹)。本文设计的视觉检测系统有助于实现玉米分子标记辅助育种中的激光自动切割采样。

参考文献:

[1] 张加勇. 近十五年来北京玉米育种发展的研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.

[2] 戴景瑞,鄂立柱. 我国玉米育种科技创新问题的几点思考[J]. 玉米科学,2010,18(1):1-5.

[3] 李向拓,毛建昌,吴权明. 分子标记在玉米育种中的应用[J]. 玉米科学,2004,12(1):26-29.

[4] 郭景伦. 适用于分子标记辅助育种的玉米单粒胚乳DNA快速提取方法[J]. 农业与技术,2005,25(5):113-114.

[5] 曹士亮. 分子标记辅助选择在玉米育种中的应用进展[J]. 作物杂志,2008(6):107-109.

[6] 梅曼彤. 浅谈植物生物技术的现状和发展[J]. 华南农业大学学报,2013,34(3):281-286.

[7] WU L, WANG C. Application of molecular marker assisted selection in gene pyramiding and selection of new cultivars[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 18(1): 79-84.

[8] THOMAS C O, PAUL C, JOSEPH J K. Systems and methods for processing hybrid seed: US2009061449-A1 [P]. 2009-03-05.

[9] 李广伟,谷侃峰,赵明扬. 育种用玉米种子切片取样自动定向方法与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(4):40-47.

[10] JASON C, DAVID K. Methodologies, processes and automated devices for orientation, sampling and collections of seed tissues from individual seeds: US2008131924-A1 [P]. 2008-06-05.

[11] 孟山都技术有限公司. 自动种子取样器及对种子进行取样、试验并散装的方法:102742394A [P]. 2012-10-24.

[12] 赵玉连. 太赫兹光谱技术在农业选种中的应用及飞秒激光自相关仪的研制[D]. 北京:首都师范大学,2004.

[13] 万鹏,孙钟雷,宗力. 基于计算机视觉的玉米粒形检测方法[J]. 中国粮油学报,2011,26(5):107-110.

[14] 阚建文,陈永艳. 基于外部特征的玉米品种计算机识别系统[J]. 农业机械学报,2004(6):115-118.

[15] GONZALEZ R C, WOOD R E. 数字图像处理[M]. 3版. 阮秋琦,等,译. 北京:电子工业出版社,2002:515-516.

【责任编辑 霍 欢】