

玉米籽粒性状高通量测量装置设计与实现

汪珂, 梁秀英, 宗力, 杨万能*

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要:为实现玉米籽粒表型性状参数的高通量测量,设计了一种基于线扫描技术和自动化控制技术相结合的玉米籽粒考种装置。该系统通过振动给料机实现玉米籽粒快速喂料,应用伺服驱动技术实现输送带运行速度和线阵扫描速度无偏差匹配,实现玉米籽粒图像无畸变获取,通过图像处理技术实现玉米籽粒表型性状参数的测量。试验结果表明,与人工测量值比较,该装置对玉米籽粒总粒数、长轴、短轴、长宽比的平均相对误差分别为0.50%、1.22%、3.34%、4.22%,平均测量效率为12 s/穗。该研究对于推动玉米籽粒高通量表型鉴定具有重要意义。

关键词:玉米籽粒;线扫描;性状测量;高通量

doi:10.13304/j.nykjdb.2015.008

中图分类号:S513 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-0864(2015)02-0094-06

Design and Realization of a High-throughput Maize Kernel Trait Extraction System

WANG Ke, LIANG Xiu-ying, ZONG Li, YANG Wan-neng*

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

Abstract: To achieve high-throughput measurement of maize kernel phenotypic traits, a maize kernel traits system was designed based on line-scan technology combined with automatic control technology. The maize kernels were fed successively with vibrating feeder, and the undistorted images of corn kernels were acquired by matching the conveyor speed and line-scan speed via servo drive technology. Through image processing technique, the maize kernel phenotypic traits parameter measurement were realized. The experimental results showed that the measurement accuracy (mean absolute percentage error, MAPE) of total kernel number, long axis, short axis, and length-width ratio were 0.50%, 1.22%, 3.34%, and 4.22%, respectively. The measurement efficiency of the system was 12 s per ear. This study is of great significance for promoting the high-throughput identification of maize kernel traits.

Key words: maize kernel; line-scan; trait measurement; high-throughput

玉米是我国主要的粮食作物之一,新品种的选育与种植是玉米优质高产的关键途径,而玉米籽粒性状如总粒数、长轴、短轴、长轴与短轴比(长宽比)等参数是品种选育的重要评价指标。随着玉米功能基因组和玉米育种技术^[1,2]的飞速发展,需要在最短的时间内获取大批量待测玉米品种籽粒性状。目前,测量方式主要分为人工测量和仪器测量,其中人工测量耗时费力,且在测量任务较大的情况下容易引入人为主观误差^[3]。

近年来,机器视觉技术因其无损性和高效性正广泛应用于农产品检测,如果形识别^[4]、内部品质检测^[5]、产品分类分级^[6]等,其中也包括对玉米籽粒品种及品质等方面的无损检测测量研究。史智兴等^[7]以黄玉米为研究对象,通过分析不同品种玉米籽粒数字图像,发现玉米籽粒黄色部分与白色部分的面积、颜色等信息在玉米品种识别方面具有显著价值;程洪等^[8]采用阈值分割和形态学处理,结合胚部区域的形状参数进行聚类识

收稿日期:2015-01-06; **接受日期:**2015-03-13

基金项目:国家 863 计划项目(2013AA102403)资助。

作者简介:汪珂,硕士研究生,主要从事玉米表型检测的研究。E-mail:wangke_0517@126.com。*通信作者:杨万能,副教授,硕士生导师,研究方向为植物表型组学及农产品无损检测。E-mail:ywn@mail.hzau.edu.cn

别,同时对多颗玉米籽粒进行品种识别,识别率在97%以上,该方法需要将玉米籽粒规整的摆放在成像区域,无法适应复杂的检测环境;荀一等^[9]针对玉米品质检测和分级中可能存在的粘连籽粒,提出一种基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法实现了粘连玉米籽粒图像的自动分割,分割正确率为96%,但该方法是通过扫描仪获取图像,无法实现在线检测的要求;王传宇等^[10]提出通过流域分割、轮廓线提取、像素点计数获得籽粒投影面积、周长和长短轴等形态描述指标,投影面积与籽粒重量之间的 R^2 为0.98,而该装置只能静态测量;宋鹏等^[11]利用玉米籽粒的形态特征和颜色特征实现玉米籽粒品种的动态分级,对5个玉米品种的平均识别率为92%,分拣正确率达80%,由于系统需人工将玉米籽粒放置在指定孔穴内,且每穴只能放置1颗,处理效率不高。

随着线扫描成像技术硬件的逐渐成熟,其已大量应用于谷物检测领域。柳冠伊等^[12]采用线扫描方式获取玉米果穗表面圆周图像信息,通过图像处理获得穗粒数和穗行数,准确率分别为94.6%和99.1%,但该方法通过辊筒相对摩擦带动果穗转动,获取果穗表面图像,因此只能单果穗测量;Duan等^[13]提出一种基于动态扫描技术在线检测水稻籽粒性状的方法,相关籽粒性状参数的检测精度在95%以上。目前,尚未见针对玉米籽粒表型性状的高通量测量装置或仪器相关报道。本文提出应用线阵列扫描成像技术与自动化控制技术相结合的方式,通过振动给料机对玉米籽粒进行快速喂料,实现玉米籽粒图像动态获取和实时分析,从而实现玉米籽粒性状参数的高通量精确测量。

1 方法

1.1 系统组成

1.1.1 系统硬件组成 系统的硬件部分由振动给料机、线阵相机、计算机、线阵光源、输送带、可编程逻辑控制器(PLC)、伺服电机及驱动器、电子天平组成。具体型号参数如下:振动给料机GZV3(南通振强机械制造有限公司,中国);线阵相机SG-11-02K40-00-R,分辨率 2048×1 (达尔萨公司,加拿大);计算机内存3.5G,主频3.5GHz;线阵光源LSL-494-40-W,480 mm(H) \times 30 mm(V)

(康士达科技有限公司,中国);可编程逻辑控制器CP1HY-20DT-Y(欧姆龙自动化有限公司,日本);伺服电机及驱动器MHMD082G-1U(松下电器有限公司,日本);电子天平HZY-B2000(华志科学仪器有限公司,中国)。系统结构示意图如图1所示。

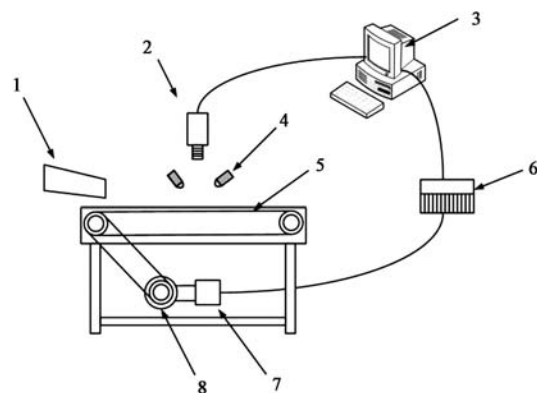


图1 系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of system.

- 1.振动给料机;2.线阵相机;3.计算机;4.线阵光源;5.输送带;6.可编程逻辑控制器;7.伺服电机;8.同步带轮
1.Vibrating feeder; 2.Line-scan camera; 3.Computer;4.Line-array LED light source; 5.Conveyor; 6.Programmable logical controller (PLC); 7.Servo motor;8.Timing pulleys

1.1.2 系统软件 系统的软件部分由LabVIEW8.6结合Visual Studio 2008开发环境编写,主要用于实现:①线阵相机以及可编程逻辑控制器初始化;②图像动态获取和图像在线处理;③数据保存。软件界面如图2所示。

1.1.3 系统控制 系统控制由可编程逻辑控制器(PLC)实现,工作流程如图3所示。系统软件以自定义通讯指令通过RS-232通讯协议与PLC进行信息交互。系统工作步骤:①软件开启,系统初始化判断线阵相机、PLC工作是否正常;②PLC控制振动给料机振动,输送带运行,开始喂料;③线阵相机采集玉米籽粒图像,同时软件进行图像处理 and 保存,以及数据分析和保存;④单次测量完毕,PLC控制振动给料机和输送带停止;⑤进行籽粒收集和称重。

1.2 图像采集和预处理

1.2.1 图像采集 为实现玉米籽粒性状参数的高通量测量,需要对图像进行动态采集,本系统采用线阵相机作为图像采集单元。线阵相机的图像

传感器为单行像素阵列,其原理即当玉米籽粒经过成像区域时,相机动态获取玉米籽粒图像。

线阵相机设定行频为1 305 Hz,合并图像尺寸为 2 048×5 000。由于线阵相机的工作方式是逐行扫描,因此对于相机与被测样本的相对运动有很高的要求。若相机采集速度大于输送带运行速度,线阵相机会多次采集某一行,样本图像将被拉伸;若输送带运行速度大于相机采集速度,线阵相机会出现行数漏采,样本图像将会被压缩。上述两种情况均会造成图像发生线性畸变,导致测量结果不准。因此,需要对线阵相机采集速度与输送带运行速度按照公式(1)进行无偏差匹配,线阵相机空间分辨率为 0.152 mm,编码器分辨率默认设定为 10 000,输送带单位位移量为 135.1 mm,根据公式(1)得出 PLC 设定的脉冲频率为 14 682。同时,线阵光源为图像获取提供稳定的光照。为保证输送带运行的平稳性,采用伺服电机作为驱动电机,以同步带实现动力的精确传动,保证输送带的匀速转动。

$$SPED = \frac{R_{CCD} \times R_V \times f_{CCD}}{S_C} \quad (1)$$

式中 SPED 为 PLC 设定的脉冲频率;R_{CCD}为线阵相机

空间分辨率;R_V为编码器分辨率;f_{CCD}为线阵相机行频;S_C为伺服电机转一圈输送带的位移量。

1.2.2 图像预处理 采集到无畸变的玉米籽粒图像后,需要对图像进行预处理,提取玉米籽粒图像。玉米籽粒与输送带碰撞以及籽粒样本中的杂质均会对输送带表面造成损伤,影响图像分割,但是损伤分布一般是比较均匀的。因此通过减背景^[14]初步对玉米籽粒图像进行处理,以消除背景噪声的部分干扰。系统软件在每次启动时,初始化的过程中均会采集一帧输送带图像作为背景图,作为减背景法中的背景图使用。

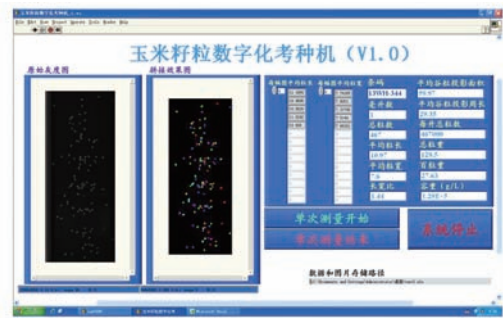


图 2 玉米籽粒性状测量系统图像处理界面
Fig.2 Image processing interface of maize kernel trait extraction system.

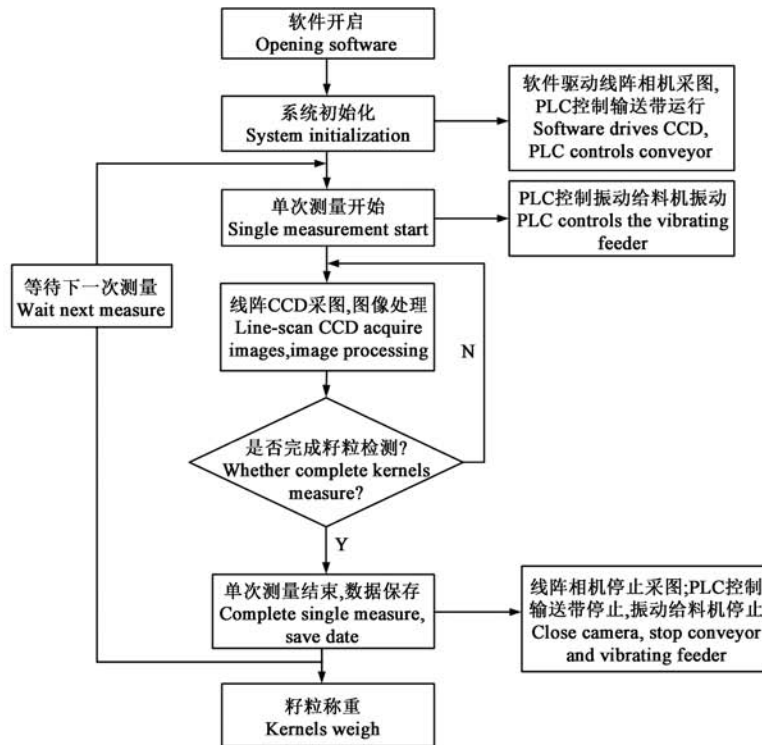


图 3 系统流程图

Fig.3 The flowchart of system.

1.3 籽粒表型性状参数测量

1.3.1 系统测量 本文主要实现玉米籽粒总粒数、长轴、短轴、长宽比的快速测量。首先实现玉米籽粒二值图像的准确提取,其具体步骤为:①通过固定阈值对籽粒灰度图像进行二值化处理,获取籽粒二值图;②以 3×3 模板对二值图像进行开操作处理,消除图像上的细小噪声,平滑籽粒边缘;③孔洞填充,填补由籽粒内部低灰度值分割为背景后所引起的孔洞;④图像的裁剪和合并,将上一帧图像下端边缘的不完整籽粒图像与下一帧图像上端边缘合并,形成完整的籽粒图像;⑤进一步对图像进行去噪处理,去除图像中样本杂质带入的较小噪声和分割过程中输送带引入的细长噪声。

玉米籽粒性状提取的具体步为:①获取干净的玉米籽粒二值图后,通过预先设定好的面积阈值将粘连籽粒和非粘连籽粒进行区分;②用非粘连籽粒图像计算长轴和短轴,以单颗籽粒的最小外接矩形的长、宽计为长轴和短轴,计算单帧图像下所有籽粒的长宽,最终综合该样本的所有图像计算算术平均值,作为该样本的长轴、短轴系统测量值;③根据公式(2)和(3)计算非粘连籽粒图像中籽粒数目 N_{otk} 。

$$N_{total} = N_{tk} + N_{otk} \quad (2)$$

N_{tk} = 粘连区域投影面积/非粘连籽粒平均投影面积 (3)

式中, N_{total} 为总粒数; N_{tk} 为粘连籽粒数; N_{otk} 为非粘连籽粒数。

1.3.2 人工测量 从每份样本中挑选具有代表性的20颗籽粒,三组人员分别对每份籽粒样本进行籽粒计数,取相同值为总粒数;若三组数据均不相同,重新数粒;采用游标卡尺测量20粒玉米籽粒的长轴、短轴。三组数据分别去掉最大值和最小值,求得平均值后,将三组平均值再求平均后所得值作为该份样本的长轴、短轴。

1.3.3 系统测量验证 采用20份玉米籽粒样本对粘连籽粒计算方法进行准确性验证。通过本文所述装置获取和处理玉米籽粒图片,计算玉米粘连籽粒数。对单份玉米籽粒样本所有图像的粘连籽粒进行计数即为人工测量值,对比系统值与人工观测值,计算绝对误差,分析粘连籽粒计算方法的准确性。

采用上述装置对58份玉米籽粒样本进行图像采集和处理,将获取的玉米籽粒性状参数:总粒数、长轴、短轴、长宽比与人工值进行比较,分别计算平均绝对百分比误差和标准误差,分析系统测量的准确性和可靠性,计算公式如式(3)和式(4)。分析系统测量的准确性和测量效率。

从58份籽粒样本中随机挑选5份样本进行重复性试验,每次样本重复测量10次,计算系统所测籽粒性状参数的变异系数,分析系统稳定性,其计算公式如式(5)。

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{ai} - x_{mi}|}{x_{mi}} \times 100\% \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ai} - x_{mi})^2} \quad (4)$$

$$C.V = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(x_{ai} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ai} \right)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ai}} \quad (5)$$

式中, $MAPE$ 为平均绝对百分比误差; $RMSE$ 为标准误差; $C.V$ 为变异系数; x_{ai} 为人工测量值; x_{mi} 为系统测量值; n 为样本数。

2 结果与分析

2.1 粘连籽粒数测量误差分析

针对粘连籽粒数的计算方法,将20份样本的系统测量值与人工测量值进行比较,结果如图4所示,其中8份样本的测量绝对误差为0粒,10

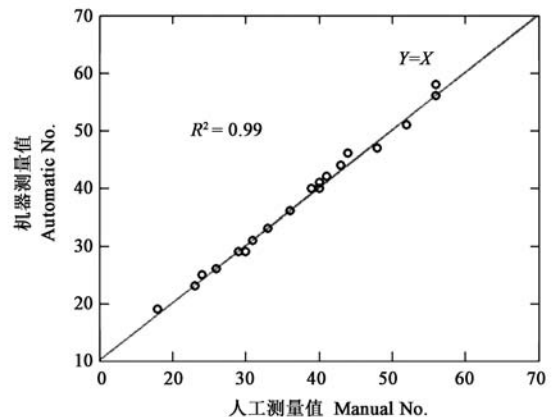


图4 粘连籽粒测试结果

Fig.4 The result of touching kernel test.

份样本的测量绝对误差为 1 粒,2 份样本的测量绝对误差为 2 粒,平均测量绝对误差为 0.7 粒。试验结果表明,本研究关于粘连籽粒粒数的计算方法是可行的。

2.2 系统测量准确性分析

针对系统测量的准确性和可靠性,将 58 份玉米籽粒样本的系统测量值与人工测量值进行比较,结果如图 5 所示,总粒数、长轴、短轴和长宽比的平均绝对百分比误差分别为 0.50%,1.22%,3.34% 和 4.22%。其中,总粒数的标准误差为 1.95,而测量误差大于 2% 的样本仅有 1 份;长轴、短轴、长宽比的标准误差分别为 0.16、0.36 和 0.06。试验结果表明,系统测量准确性较高。

2.3 系统测量效率分析

对 58 份样本的测量过程进行效率统计发现,该装置的平均测量效率为 12 s/穗(该仪器需要一人操作)。而在同等人工条件下,人工测量效率约为 146 s/穗,该装置的测量效率是人工测量效率的 12 倍。如该装置一天连续工作 24 h,测量效

率理论上可以达到 7 200 穗/d。

2.4 系统测量重复性分析

针对系统测量的稳定性,其重复性试验结果如表 1 所示,在 5 组样本的重复性试验中,总粒数、长轴、短轴的变异系数均小于 1%,而 5 组样本的长宽比中最大变异系数为 1.44%。试验结果表明,针对单份样本系统测量结果具有很好的重复性。

表 1 重复性试验结果

Table 1 The result of repeatability measurement.

编号 Number	总粒数 Total kernel number	长轴 Length axis	短轴 Short axis	长宽比 Length-width ratio
1	0.59%	0.75%	0.85%	0.99%
2	0.46%	0.94%	0.98%	0.88%
3	0.85%	0.61%	0.84%	0.90%
4	0.63%	0.95%	0.73%	1.44%
5	0.44%	0.83%	0.74%	0.94%

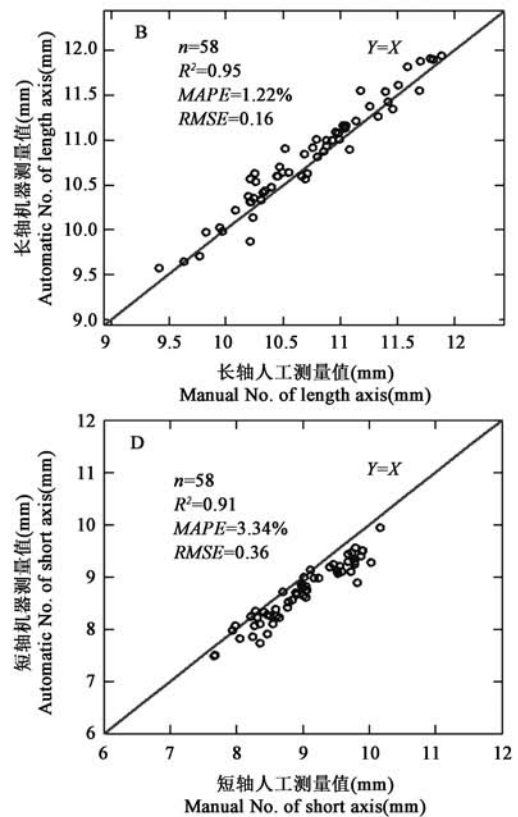
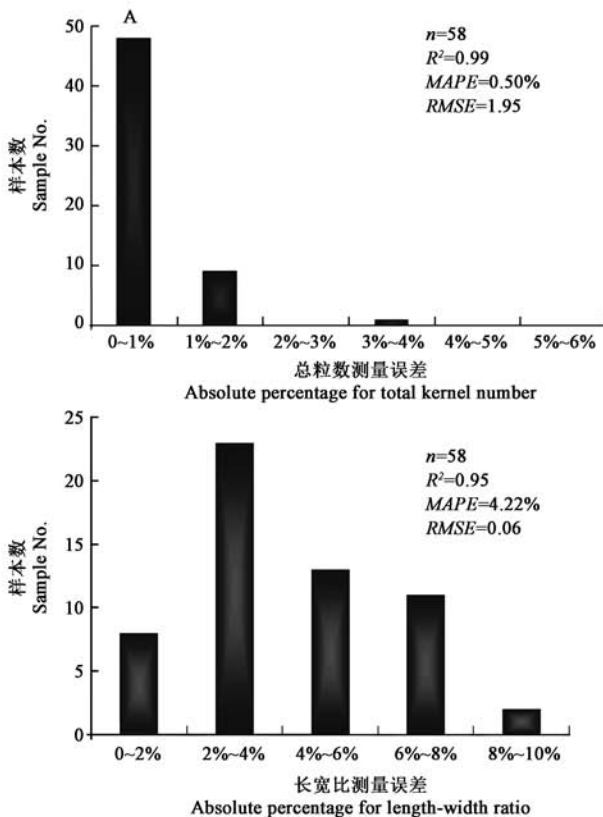


图 5 系统测量与人工测量结果对比

Fig.5 The contrast result of system measurement and manual measurement.

3 讨论

随着玉米功能基因组研究和玉米育种技术的飞速发展,需要在很短的时间内获取成千上万份玉米样本的籽粒表型性状,而传统的玉米籽粒表型观测手段已无法满足这一需求,制约了玉米功能基因组和玉米育种技术的发展。

为了解决这一瓶颈,本研究针对高通量获取玉米籽粒表型性状参数,通过自动化控制技术与线扫描技术相结合,实现了在线获取玉米籽粒图像并进行实时处理。通过固定阈值分割、面积阈值判别和像素点计数,实现了对玉米籽粒总粒数、长轴、短轴和长宽比的快速测量。实验结果表明,针对玉米籽粒表型性状参数测量,该装置具有精度高(平均相对误差小于5%)、高通量(12 s/穗)、稳定性好等优点。本系统适用于大批量玉米籽粒考种需求的科研人员,如该装置一天连续工作24 h,测量效率理论上可以达到7 200穗/h,对高通量玉米籽粒表型鉴定具有重要促进作用。但系统也存在一些不足,比如测量一些特殊玉米籽粒品种(黑色玉米品种籽粒),会存在较大的测量误差,如何进一步改进系统软硬件适用于特殊玉米品种测量,拓展本系统的适用面,这将是下一步系统改进的重要方向。

参 考 文 献

- [1] 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,2010,1:1-5.
Dai J R, E L Z. Scientific and technological innovation of maize breeding in China [J]. J. Maize Sci., 2010, 1:1-5.
- [2] 胡建广,王子明,李余良,等. 我国甜玉米育种研究概况与发展方向[J]. 玉米科学,2004,1:12-15.
Hu J G, Wang Z M, Li Y L, et al.. General situation and development direction of sweet corn breeding in China [J]. J. Maize Sci., 2004, 1:12-15.
- [3] Yang W N, Guo Z L, Chen G X, et al.. Plant phenomics and high-throughput phenotyping: accelerating rice functional genomics using multidisciplinary technologies [J]. Curr. Opin. Plant Biol., 2013, 16:180-187.
- [4] 司永胜,乔军,刘刚,等. 基于机器视觉的苹果识别和形状特征提取[J]. 农业机械学报,2009,40(8):161-165.
Si Y S, Qiao J, Liu G, et al.. Recognition and shape features extraction of apples based on machine vision [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Machin., 2009, 40(8):161-165.
- [5] 应义斌,饶秀勤,赵匀,等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用研究进展[J]. 农业工程学报,2000,16(3):4-8.
Ying Y B, Rao X Q, Zhao Y, et al.. Advance on application of machine vision technique to automatic quality identification of agricultural products [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2000, 16(3):4-8.
- [6] 刁智华,王会丹,魏伟. 机器视觉在农业生产中的应用研究[J]. 农机化研究,2014,3:206-211.
Diao Z H, Wang H D, Wei W. Summary of research on machine vision application in agricultural production [J]. J. Agric. Mech. Res., 2014, 3:206-211.
- [7] 史智兴,程洪,李江涛,等. 图像处理识别玉米品种的特征参数研究[J]. 农业工程学报,2008,24(6):193-195.
Shi Z X, Cheng H, Li J T, et al.. Characteristic parameters to identify varieties of corn seeds by image processing [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2008, 24(6):193-195.
- [8] 程洪,史智兴,尹辉娟,等. 基于机器视觉的多个玉米籽粒胚部特征检测[J]. 农业工程学报,2013,29(19):145-151.
Cheng H, Shi Z X, Yin H J, et al.. Detection of multi-corn kernel embryos characteristic using machine vision [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2013, 29(19):145-151.
- [9] 荀一,鲍官军,杨庆华,等. 粘连玉米籽粒图像的自动分割方法[J]. 农业机械学报,2010,41(4):163-167.
Xun Y, Bao G J, Yang Q H, et al.. Automatic segmentation of touching corn kernels in digital image [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Machin., 2010, 41(4):163-167.
- [10] 王传宇,郭新宇,温维亮,等. 基于计算机视觉的玉米籽粒形态测量[J]. 农机化研究,2011,33(6):141-144.
Wang C Y, Guo X Y, Wen W L, et al.. The measurement of maize kernel shape based on computer vision [J]. J. Agric. Mech. Res., 2011, 33(6):141-144.
- [11] 宋鹏,张俊雄,荀一,等. 玉米种子自动精选系统开发[J]. 农业工程学报,2010,26(9):124-127.
Song P, Zhang J X, Xun Y, et al.. Development of automatic inspection system of corn seeds [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2010, 26(9):124-127.
- [12] 柳冠伊,杨小红,白明,等. 基于线阵扫描图像的玉米果穗性状检测技术[J]. 农业机械学报,2013,44(11):276-280.
Liu G Y, Yang X H, Bai M, et al.. Detecting techniques of maize ear characters based on line scan image [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Machin., 2013, 44(11):276-280.
- [13] Duan L F, Yang W N, Huang C L, et al.. A novel machine-vision-based facility for the automatic evaluation of yield-related traits in rice [J]. Plant Methods, 2011,7:44.
- [14] 韩亚伟,张有志,李庆涛,等. 帧差累积和减背景相结合的运动对象分割方法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(14):164-165.
Han Y W, Zhang Y Z, Li Q T, et al.. Moving object segmentation method using accumulated frame difference and background subtraction [J]. Comput. Eng. Appl., 2011, 47(14):164-165.