

基于 DSP 与 ARM 的大豆籽粒视觉分级系统*

房俊龙 杨森森 赵朝阳 李明 王润涛

(东北农业大学电气与信息学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对现有大豆籽粒筛选机构精度低、豆粒损伤大、不能有效识别霉变、灰斑豆粒等缺点,提出了一种基于 TMS320DM6437(DSP)和 TMS320DM355(ARM)的嵌入式大豆籽粒视觉分级系统的总体设计方案。阐述了该系统的工作原理、硬件构成、软件系统和分级测试。采集的大豆图像,经背景分割后提取豆粒参数,利用统计学方法对豆粒区域进行边界特征、区域特征提取,确定圆形度和平滑度为最优分级特征。以达芬奇技术处理器 TMS320DM6437 和 TMS320DM355 作为核心处理单元,嵌入图像处理算法,实现大豆籽粒的视觉分级。选取 4 类不同品种大豆各 2 000 粒作为试验样本,对系统进行重复测试,分级筛选精度达到 95%。

关键词: 大豆 分级 机器视觉 TMS320DM6437 TMS320DM355

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)08-0001-06

Soybean Seeds Visual Classification System Based on DSP and ARM

Fang Junlong Yang Sensen Zhao Zhaoyang Li Ming Wang Runtao

(College of Electrical and Information, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Selection and screening of soybean seeds was an important link in soybean seeds processing. At present, manual work and mechanical principle were widely used in domestic selection and screening of soybean seeds, which were featured by high cost, great labor intensity and low efficiency and precision. In recent years, with the research on machine vision technology deeper, the machine vision was more and more widely applied to recognition and detection of agricultural products. A total design scheme of embedded soybean seeds visual classification system was proposed based on DSP and ARM. The working principle of the device, hardware configuration, software system and placement test were introduced. A soybean seeds selection algorithm was designed, and statistic on parameters was made, extraction of soybean seeds boundary and regional drawing characteristics was found out, and roundness and smoothness were set as primary basis of selection. DSP-ARM dual-processor architecture processor with DaVinci technology TMS320DM6437 (DSP) and TMS320DM355 (ARM) was used as the core processing unit. In this system, a real-time process to the soybean seeds picture captured by camera was taken by using DaVinci technology TMS320DM6437, and the processed result was obtained by using TMS320DM355, which achieved the intelligent grading of soybean seeds. Image processing algorithm was designed firstly, statistical approach was utilized to distill boundary characteristics and regional characteristics of soybean seeds, and then the grading feature was determined. Visual grading of soybean seeds was achieved by embedded operating system. Four varieties of soybean (Dongnong 42, Dongnong 89836, Dongnong L13 and Dongnong 44) of 2 000 grains each were taken as test samples to retest the device. The precision of selection and screening can reach 95%.

Key words: Soybean Classification Machine vision TMS320DM6437 TMS320DM355

收稿日期: 2015-03-18 修回日期: 2015-06-06

* 教育部春晖计划资助项目(Z2012074)、黑龙江省教育厅科学技术研究资助项目(12531004)和黑龙江省人力资源与社会保障厅领军人才梯队后备带头人资助项目

作者简介: 房俊龙, 教授, 博士生导师, 主要从事图像处理与机器视觉研究, E-mail: jlfang@neau.edu.cn

引言

大豆分级筛选作为大豆加工的重要环节,其筛选效率、精度的提高对我国大豆产业的发展有着重要意义^[1]。目前,国内对大豆的分级筛选较多采用人工及机械方法。其中,人工方法准确度较高,但效率较低,浪费大量人力;机械方法多采用离心、震动等方式完成,精度较低,不能有效识别霉变、灰斑豆粒,且易造成大豆的破损^[2]。近些年,随着机器视觉技术的不断发展,机器视觉在作物分级筛选中的应用越来越广泛^[3-5]。嵌入式机器视觉系统具有集成化、小型化的优点,本文设计大豆视觉检测与分级系统,在 DSP 与 ARM 上实现嵌入式算法,实现大豆籽粒的智能分级筛选。

1 系统结构与原理

大豆籽粒视觉分级系统主要由大豆整列部分、大豆传送部分、图像采集部分、图像处理部分、分选控制部分及补光照明系统等组成。系统整体结构如图 1 所示^[6-12]。其中,大豆整列部分主要由步进电动机及排种器组成;大豆传送部分由步进电动机和输送带组成;图像采集及处理部分由摄像头及基于 DSP 与 ARM 的达芬奇嵌入式图像处理平台组成;分选控制过程主要由 ARM 控制的喷气阀完成;补光照明系统主要由条形光源实现。

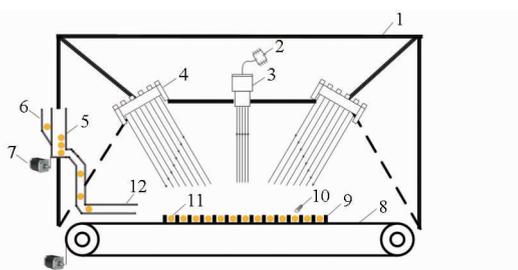


图 1 大豆籽粒视觉分级系统

Fig. 1 Visual classification system of soybean seeds

1. 暗箱 2. 达芬奇嵌入式图像处理平台 3. 摄像头 4. 条形光源 5. 排种器 6. 喂料口 7. 步进电动机 8. 输送带 9. 输送带挡板 10. 喷气阀 11. 大豆样本 12. 排种口

系统工作流程如图 2 所示。当大豆由喂料口进入后,系统上电,步进电动机带动排种器匀速旋转,将大豆籽粒均匀铺放在输送带上。输送带在步进电动机作用下匀速运动,当大豆目标通过采集区域时,摄像头采集一幅图像,经 DSP 运算处理后将运算结果发送至 ARM。如果判断为不合格豆粒则控制喷气阀动作,将豆粒吹落输送带,合格豆粒则移动至输送带末端自由落下。其中,播种器采用东北农业大学研制的摩擦型立式圆盘排种器;输送带采用黑色

橡胶输送带,为防止大豆籽粒的滑落,在上面等距固定间隔为 10 mm 的挡板。

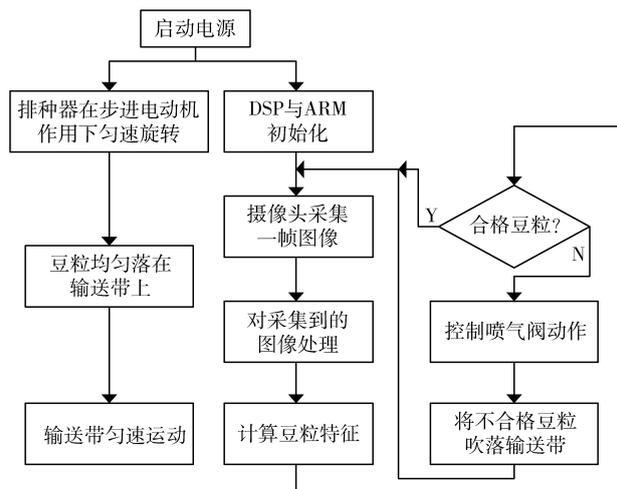


图 2 大豆籽粒视觉分级系统工作流程

Fig. 2 Working process of soybean seeds visual classification system

2 系统硬件设计

大豆籽粒视觉分级系统采用双处理器结构。系统采用北京达盛科技有限公司生产的 TMS320DM355/6437 达芬奇视频处理平台,包括 TI 公司开发的达芬奇技术处理器 TMS320DM6437 (DSP) 和 TMS320DM355 (ARM) 作为核心处理单元^[13-16]。

TMS320DM6437 处理器采用高性能的 C64x + 核,具有高达 600 MHz 主频、指令周期短至 1.67 ns,每个时钟周期可并行执行 8 个 32 bit 的 C64x + 指令。具有功能丰富的视频处理子系统,前端子系统支持 CCD 和 CMOS 图像传感器接口,后端子系统支持硬件在屏幕显示。

TMS320DM355 处理器采用哈佛结构的 ARM9 内核,主频高达 270 MHz。包括 ARM926EJ-S 和 MJCP 协处理器,支持 ARM 扩展 DSP 指令和 ARM Jazelle 技术,可以处理 32 位指令集。可以实现 720 P 高清 MPEG4 编码或解码,支持 30FPS 实时处理,编码解码能力可达 5 000 万像素。

大豆籽粒视觉分级系统中 DSP 端芯片 TMS320DM6437 运行大豆分级算法,ARM 端芯片 TMS320DM355 运行嵌入式系统,并负责控制执行机构。嵌入式系统结构如图 3 所示。

摄像头实时采集模拟视频信号,通过视频解码器 TVP5150 转换为数字信号后,同时送入 TMS320DM6437 与 TMS320DM355 中进行处理,DSP 侧通过运行图像处理算法将运算结果通过 UART 发送至 ARM 侧,ARM 侧通过执行机构控制执行机构

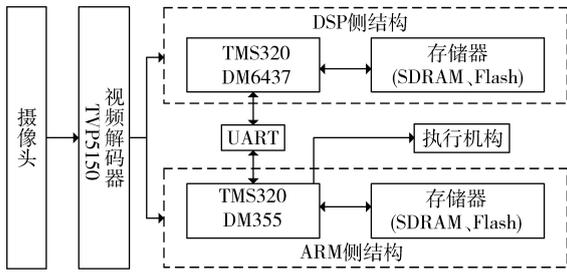


图 3 嵌入式系统结构

Fig. 3 Embedded system structure

动作,筛选出不合格豆粒。其中,TMS320DM6437 扩展 64 MByte 的 DD2 型 SDRAM 存储器及 256 Mbit 的 Nor Flash 存储器;TMS320DM355 扩展 128 MByte 的 DD2 型 SDRAM 存储器及 512 Mbit 的 Nor Flash 存储器。

3 图像处理算法设计

大豆籽粒视觉分级系统通过摄像头采集输送带上的大豆图像,在嵌入式视觉系统中进行处理,去除背景,得到大豆的边界及区域特征值^[17-20]。

3.1 图像预处理

对大豆进行分级筛选,需要将大豆从背景中分离出来。黑色背景可以避免光线反射对采集图像的影响,故装置使用的传送带及背景均为黑色。选取试验过程采集到的一帧图像如图 4a 所示。



图 4 原始图像及去除背景后图像

Fig. 4 Original image and background removal

(a) 原始图像 (b) 去除背景后的彩色图像

若直接利用摄像头获取的背景图像进行差分法运算,则豆粒与背景相同位置运算后数据会失真,本文从原始图像中提取背景,并与试验获得的每帧图像进行差分运算。首先,对原始图像的各个通道不同像素点出现的频数进行统计,如图 5 所示。

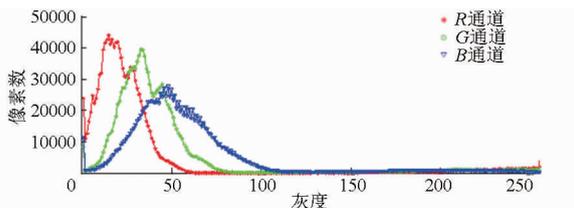


图 5 灰度频点分布

Fig. 5 Grayscale values frequency distribution

各个通道值灰度值均接近于零。因此,剔除各个通道灰度频点分布图波峰附近的大豆图像即为背景图像。差分后图像如图 4b 所示。去除背景后,对图像进行阈值分割,分割结果如图 6a 所示。

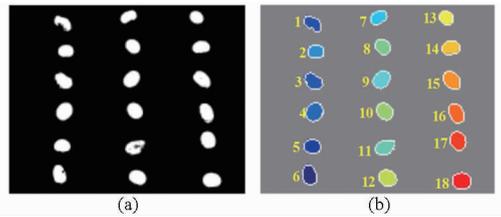


图 6 分割结果

Fig. 6 Segmentation results

(a) 去除背景后的豆粒阈值分割结果 (b) 豆粒连通区域

由于试验过程中,传送带是运动的,因此在分割后,二值图像中含有微弱的噪声信号。选用半径为 2 的圆盘形掩膜与二值图像进行闭运算,以此除去噪声信号。为了选取分级特征,需要对各个豆粒信息进行统计、计算,因此本文在背景分割后的二值图像中对各个豆粒所在的连通区域进行标记并排序,如图 6b 所示。

3.2 形状分级特征提取

形状分级特征包括各个豆粒区域的周长、面积、圆形成、离心率等。周长指豆粒区域的像素个数;面积指豆粒区域内总的像素个数;圆形成反映了豆粒区域的边界形状接近圆的程度,度量圆形成最常用的是计算致密度,其计算方法为

$$C = \frac{P^2}{A} \quad (1)$$

式中 P ——豆粒区域的周长

A ——豆粒区域的面积

离心率即与豆粒区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的离心率。椭圆长短轴比指椭圆的长轴与短轴的比值。离心率和椭圆长短轴比均反映了椭圆与圆的接近程度。对各个豆粒区域的圆形成、离心率、长短轴比进行计算,结果如图 7 所示。

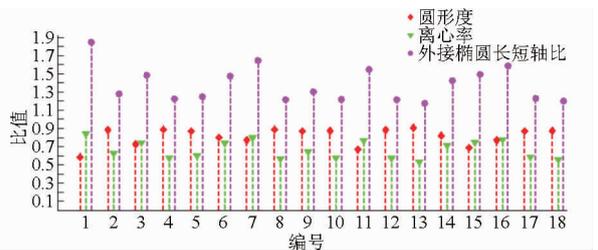


图 7 形状分级特征

Fig. 7 Shape classification signature

经过多次试验,发现区域的圆形成最能反映豆粒外形的规则程度。为了减小不必要的运算过程,仅将圆形成作为边界描绘的最优特征。根据多次试验结果,设定选取阈值为 0.865 0,即豆粒所在连通

区域的圆形度大于0.8650的豆粒为合格豆粒。

3.3 纹理分级特征提取

仅靠外形特征并不能准确识别霉变豆粒及灰斑豆粒,因此还需要对各个豆粒区域的纹理特征进行统计。纹理特征反映了豆粒区域的光滑程度。采用灰度差分统计法来计算各个豆粒所在连通区域的灰度均值、标准差等纹理描绘特征。设 (x, y) 为图像中一点,该点与和它只有微小距离的点 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 的灰度差值为

$$g_{\Delta}(x, y) = g(x, y) - g(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad (2)$$

式中 g_{Δ} ——灰度差分

设灰度差分的所有取值共有 n 级。令 (x, y) 取遍图像中的所有点,计算出 $g_{\Delta}(x, y)$ 取各个值的次数,以此作出 $g_{\Delta}(x, y)$ 的直方图,根据直方图可知 $g_{\Delta}(x, y)$ 的取值概率 $p_{\Delta}(i)$ 。

其中,均值 m 表示图形区域的平均亮度,计算式为

$$m = \frac{1}{n} \sum_i i p_{\Delta}(i) \quad (3)$$

标准偏差 σ 表示图形区域的平均对比度,计算式为

$$\sigma = \sum_i i^2 p_{\Delta}(i) \quad (4)$$

平滑度 R 表示图形区域的相对平滑度,计算式为

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2} \quad (5)$$

通过对各个豆粒所在连通区域灰度级直方图的纹理度量,得到各个豆粒区域的灰度均值、标准差和平滑度,如表1所示。

经过多次试验,发现标准差和平滑度都能较准确地反映豆粒的纹理特性。最终选择平滑度作为分级特征,并确定合格豆粒的平滑度阈值为0.029,即平滑度小于0.029的豆粒为合格豆粒。

4 系统软件设计

系统主要包括视频采集线程、显示及控制线程、大豆分级检测线程,软件流程如图8所示。视频采集线程主要实现对视频的解码及写入缓存。首先,配置解码器参数,驱动解码器,其次调用IOM底层视频驱动,将VPFE参数传入底层驱动,创建视频输入通道,获取视频输入句柄,进而通过IOM驱动函数分配视频缓冲区,调用函数将缓冲区放入视频输入队列。

大豆分级检测线程主要实现大豆特征值提取与比较。首先获取一帧缓冲区的图像,裁剪豆粒区域

表1 纹理分级特征

Tab.1 Regional depict features

| 编号 | 均值 | 标准差 | 平滑度 |
|----|----------|---------|--------|
| 1 | 228.7010 | 49.3476 | 0.0361 |
| 2 | 246.1132 | 31.2445 | 0.0148 |
| 3 | 243.4431 | 35.3664 | 0.0189 |
| 4 | 245.4860 | 32.1430 | 0.0156 |
| 5 | 239.4768 | 40.2308 | 0.0243 |
| 6 | 235.9880 | 43.3894 | 0.0281 |
| 7 | 238.2940 | 43.4378 | 0.0282 |
| 8 | 246.2741 | 30.8746 | 0.0144 |
| 9 | 245.6245 | 32.5068 | 0.0160 |
| 10 | 242.9068 | 35.3528 | 0.0189 |
| 11 | 230.6908 | 45.9928 | 0.0315 |
| 12 | 239.5915 | 40.4024 | 0.0245 |
| 13 | 243.0237 | 36.8346 | 0.0204 |
| 14 | 239.5192 | 39.5396 | 0.0235 |
| 15 | 233.3172 | 46.7239 | 0.0325 |
| 16 | 241.5768 | 38.2668 | 0.0220 |
| 17 | 240.4167 | 38.1806 | 0.0219 |
| 18 | 240.2560 | 38.4163 | 0.0222 |

后,去除背景并获取豆粒的形状及分级特征后与参考值进行比较,并将比较结果发送至显示及控制线程。显示及控制线程实现视频信号的实时显示,并调用大豆分级检测线程获取处理结果,控制执行机构的动作。当判断为不合格豆粒后,控制气阀动作,吹落豆粒。

5 分级试验

为验证大豆籽粒视觉分级系统的工作性能,选取不同品种的大豆籽粒进行分级测试。试验装置如图9所示。

试验前调节摄像头位置,使每帧图像都能捕捉3行豆粒。分级试验随机选取4类品种大豆各2000粒,均包含一定数目破损、灰斑及霉变豆粒。首先利用人工筛选的方式选择出各个品种中不合格豆粒的个数并做好记录。调节步进电动机转速,使传送带速率在0.03~0.07 m/s之间变化,此时选择3个不同排种速率进行试验即540、900、1260粒/min。试验过程中装置工作状态如图10所示。

设定合格豆粒的分级阈值为圆形度大于0.8650,平滑度小于0.029,进行3次重复试验,试验结果如表2所示。

试验结果表明,系统对大豆籽粒视觉分级正确率达到95%。试验过程产生误判的原因是,在大豆籽粒跟随传送带运动过程中,部分大豆籽粒的霉变或灰斑部位出现在大豆底面,不能及时被摄像头捕捉,造成误判。今后研究中将通过对系统机械结构改进,优化整列过程,减小误差。

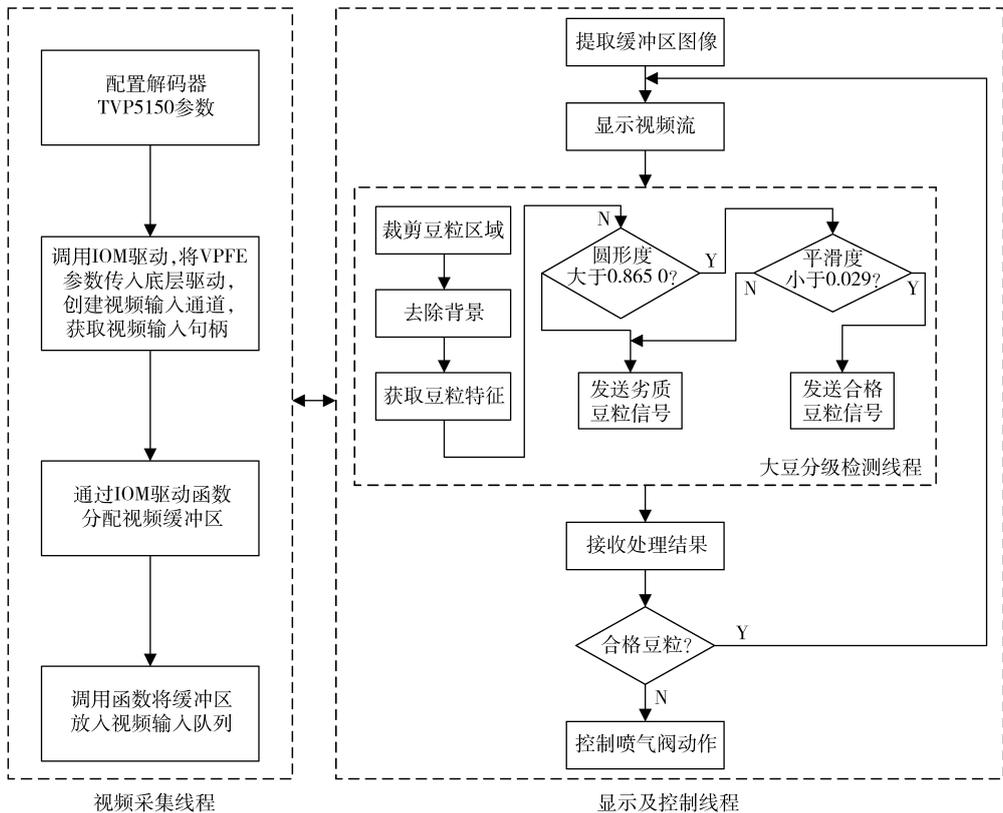


图 8 软件流程图

Fig. 8 Software flow chart



图 9 试验装置

Fig. 9 Experimental device



图 10 试验过程

Fig. 10 Experimental process

表 2 试验结果统计

Tab. 2 Statistics of test results

| 大豆品种 | 速率/(粒·min ⁻¹) | | | | | |
|----------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 540 | | 900 | | 1 260 | |
| | 正确数/粒 | 正确率/% | 正确数/粒 | 正确率/% | 正确数/粒 | 正确率/% |
| 东农 42 | 1 934 | 96.7 | 1 924 | 96.2 | 1 908 | 95.4 |
| 东农 89836 | 1 944 | 97.2 | 1 940 | 97.0 | 1 938 | 96.9 |
| 东农 L13 | 1 916 | 95.8 | 1 904 | 95.2 | 1 894 | 94.7 |
| 东农 44 | 1 966 | 98.3 | 1 958 | 97.9 | 1 952 | 97.6 |

6 结束语

通过利用图像处理技术、嵌入式技术及自动控制原理设计了大豆籽粒视觉分级系统。使用达芬奇数字媒体处理器 TMS320DM6437 与 TMS320DM355 作为核心芯片,设计了基于 DSP 与 ARM 的大豆籽粒视觉分级系统实现了大豆籽粒的智能检测与分级,解决了传统大豆籽粒分级装置效率低,损伤大的缺点。大豆籽粒视觉分级系统正确率达到 95%。机械结构缺陷是产生误判的原因。

参 考 文 献

- 高连兴,李晓峰,接鑫,等. 大豆机械脱粒损伤特征及损伤率研究[J]. 沈阳农业大学学报,2010(1):55-58. Gao Lianxing, Li Xiaofeng, Jie Xin, et al. Investigation on characteristics and ratio of soybean kernel mechanical damage[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2010(1): 55-58. (in Chinese)
- 王润涛,张长利,房俊龙,等. 基于机器视觉的大豆籽粒精选技术[J]. 农业工程学报,2011,27(8):355-359.

- 3 陈兵旗,孙旭东,韩旭,等. 基于机器视觉的水稻种子精选技术[J]. 农业机械学报,2010,41(7):168-173.
Chen Bingqi, Sun Xudong, Han Xu, et al. Rice seeds selection based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(7):168-173. (in Chinese)
- 4 赵娟,彭彦昆,Sagar Dhakal,等. 基于机器视觉的苹果外观缺陷在线检测[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):260-263.
Zhao Juan, Peng Yankun, Sagar Dhakal, et al. On-line detection of apple surface defect based on image processing method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(Supp.1):260-263. (in Chinese)
- 5 李恺,杨艳丽,刘凯,等. 基于机器视觉的红掌检测分级方法[J]. 农业工程学报,2013,29(24):196-203.
Li Kai, Yang Yanli, Liu Kai, et al. Determination and grading of anthurium based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(24):196-203. (in Chinese)
- 6 王松磊,刘民法,何建国,等. 红枣自动快速无损检测分级机研究[J]. 农业机械学报,2014,45(9):79-83.
Wang Songlei, Liu Minfa, He Jianguo, et al. Study of rapid and automatic non-destructive testing grader for red jujubes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(9):79-83. (in Chinese)
- 7 杜永忠,平雪良,何佳唯. 圣女果表面缺陷检测与分级系统研究[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):194-199.
Du Yongzhong, Ping Xueliang, He Jiawei. Surface defect detection and classification system for cherry tomatoes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(Supp.1):194-199. (in Chinese)
- 8 左兴健,武广伟. 猕猴桃自动分级设备设计与试验[J]. 农业机械学报,2014,45(增刊):287-295.
Zuo Xingjian, Wu Guangwei. Design and experiment on automatic grading machine for kiwi[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(Supp.):287-295. (in Chinese)
- 9 胡发焕,刘国平,胡璐华,等. 基于机器视觉和支持向量机的脐橙品质分级检测[J]. 北京工业大学学报,2014,40(11):1615-1620.
Hu Fahuan, Liu Guoping, Hu Ronghua, et al. Quality grade detection in navel oranges based on machine vision and support vector machine [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2014,40(11):1615-1620. (in Chinese)
- 10 陈红,夏青,左婷,等. 破损花菇机器视觉检测技术[J]. 农业机械学报,2014,45(11):60-67.
Chen Hong, Xia Qing, Zuo Ting, et al. Application of machine vision in detection of broken shiitake[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(11):60-67. (in Chinese)
- 11 陈红,夏青,左婷,等. 基于机器视觉的花菇分选技术[J]. 农业机械学报,2014,45(1):281-287.
Chen Hong, Xia Qing, Zuo Ting, et al. Determination of shiitake mushroom grading based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(1):281-287. (in Chinese)
- 12 张海云,彭彦昆,王伟,等. 生鲜猪肉主要品质参数无损在线检测系统[J]. 农业机械学报,2013,44(4):146-151.
Zhang Haiyun, Peng Yankun, Wang Wei, et al. Nondestructive real-time detection system for assessing main quality parameters of fresh pork[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(4):146-151. (in Chinese)
- 13 张博龙,于正林,齐凯,等. 基于 DM6437-355 的目标跟踪系统的研究[J]. 长春理工大学学报:自然科学版,2014,37(1):108-111.
Zhang Bolong, Yu Zhenglin, Qi Kai, et al. Research on a target tracking system based on DM-6437-355 [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2014,37(1):108-111. (in Chinese)
- 14 张成涛,谭彧,吴刚,等. 基于达芬奇平台的联合收获机视觉导航系统路径识别[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):271-276.
Zhang Chengtao, Tan Yu, Wu Gang, et al. Visual navigation system path recognition algorithm based on DaVinci platform for combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43 (Supp.): 271-276. (in Chinese)
- 15 张成涛,谭彧,吴刚,等. 基于达芬奇技术的收割机视觉导航图像处理算法试验系统[J]. 农业工程学报,2012,28(22):166-173.
Zhang Chengtao, Tan Yu, Wu Gang, et al. Testing system of image processing algorithm of visual navigation system for harvester based on DaVinci technology[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(22):166-173. (in Chinese)
- 16 王玲,郑奎,王超峰. 基于 ARM 和 DSP 的嵌入式收获前籽棉分级系统[J]. 农业机械学报,2011,42(增刊):156-161.
Wang Ling, Zheng Kui, Wang Chaofeng. Design of embedded system for grading of pre-harvest cotton based on ARM and DSP [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(Supp.):156-161. (in Chinese)
- 17 邹修国,丁为民,刘德营,等. 基于改进 Hu 矩和遗传神经网络的稻飞虱识别系统[J]. 农业机械学报,2013,44(6):222-226.
Zou Xiuguo, Ding Weimin, Liu Deying, et al. Recognition system of rice planthopper based on improved Hu moment and genetic algorithm optimized BP neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(6):222-226. (in Chinese)
- 18 王福杰,饶秀勤,应义斌. 苹果图像的背景分割与目标提取[J]. 农业机械学报,2013,44(1):196-199,210.
Wang Fujie, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Background segmentation and object extraction of apples images [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(1):196-199,210. (in Chinese)
- 19 张红涛,毛罕平,剧森,等. 基于胚部区域特征的麦粒姿态自动识别[J]. 农业工程学报,2014,30(14):163-169.
Zhang Hongtao, Mao Hanping, Ju Sen, et al. Automatic posture recognition of wheat kernels based on germ features [J]. Transactions of the CSAE,2014,30(14):163-169. (in Chinese)
- 20 崔永杰,苏帅,王霞霞,等. 基于机器视觉的自然环境中猕猴桃识别与特征提取[J]. 农业机械学报,2013,44(5):247-252.
Cui Yongjie, Su Shuai, Wang Xiuxia, et al. Recognition and feature extraction of kiwifruit in natural environment based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(5):247-252. (in Chinese)