

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.008

脱绒棉种色选机双 CCD 检测系统设计与仿真分析^{*}

余淑华 刘艳丽 王世璞 杜鸿运
(天津市光学精密机械研究所, 天津 300384)

摘要: 设计了一种脱绒棉种双侧双 CCD (Charge coupled device) 色选检测系统。通过对该检测系统的光学子系统、图像采集子系统和处理子系统等的分析与设计, 结合仿真分析和测试试验, 验证了系统效果。其中, 图像采集子系统采用彩色线阵 CCD 对脱绒棉种进行成熟度信息采集、黑白线阵 CCD 对棉种进行完整度信息采集; 图像处理和分折用于提取关键特征信息做棉种类型的判别分析。试验结果表明, 检测系统设计的光学子系统模块能够得到特征清晰的图像, 处理子系统能满足双图像采集子系统 CCD 正常采集物料特征信息, 系统能够保证分选的实时性和稳定性要求。

关键词: 脱绒棉种 色选 双 CCD 检测系统 成熟度 完整度

中图分类号: S375; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0055-07

Design and Simulation Analysis of Dual CCD Detection System for Delinted Cottonseeds Color Sorter

Yu Shuhua Liu Yanli Wang Shipu Du Hongyun
(Tianjin Institute of Optics and Fine Mechanics, Tianjin 300384, China)

Abstract: At present, the phenomenon of the red-seed (the maturity of cottonseed is low) exists in the cottonseed processing. Most of the domestic cottonseed processing companies are still reliant on artificial monitoring for picking the red-seed. However, the visual inspection of worker has some problems such as low automation level, many subjective factors and high labor costs. Besides, the process of cottonseed delinting also results in a decreased cottonseed germination rate and other issues. To solve these problems, this paper presents a dual CCD (Charge coupled device) detection system of delinted cottonseeds color sorter which is different from the current separation technology. Through the analysis of some subsystems in the detection system, such as optical subsystem, image acquisition subsystem and image processing subsystem, and also combined with simulation analysis and tests, the effects of the proposed system were verified. Wherein the image acquisition subsystem, the cottonseed maturity information was collected with the color linear CCD, and the integrity information was collected with black and white linear CCD. The key feature information which extracted by image processing and analysis was used to make type discriminant analysis of cottonseeds. The results showed that the detection system designed optical subsystem modules could obtain the imaged with clear features. The image processing subsystem could collect material feature information which could be used in image acquisition subsystem. The designed system could ensure the real-time and stability while sorting.

Key words: Delinted cottonseeds Color sorter Dual CCD detection system Maturity Integrity

收稿日期: 2015-01-04 修回日期: 2015-01-20
^{*} “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAF07B04)
作者简介: 余淑华, 助理工程师, 主要研究智能信息处理与嵌入式应用研究, E-mail: yushuhuawh@163.com
通讯作者: 杜鸿运, 高级工程师, 主要从事光学仪器开发研究, E-mail: banner-du@163.com

引言

棉花是我国最主要的经济作物,涉及农业和纺织业^[1],棉花的生产、商品流通和消费,与国计民生和经济发展关系密切^[2]。棉种是棉花生产的基础,棉种质量直接影响棉花产量和纤维品质,选用品质优良的棉种可以使棉花增产和提高纤维品质^[3]。为了适应农业生产优质、高效和快速发展,棉种应满足较高纯度、精度和发芽率等性能要求。

国内外对种子的分选应用与研究有悠久的历史,传统方法有利用空气动力学、几何和比重特性等对种子进行分选,当前较为先进的方法有利用静电、颜色特性和机器视觉技术对种子进行分选^[4-6]。其中,空气动力学分选方法无法剔除与种子相似的杂质^[4-7];几何学分选方法对与种子尺寸相差无异的杂质无能为力^[4-6];比重分选方法无法剔除破损种子^[4-8];静电分离法(介电分选技术)可以提高种子活力,但是无法剔除密度、尺寸相差不大的种子^[9-12];颜色分选(色选技术)可以分选出“红种”(成熟度不高种子)和黑色种子(成熟合格种子),但是无法剔除破损、破碎种子^[13-18];机器视觉技术可剔除“红种”、破损和破碎的种子,但是对图像处理方法有较高要求,同时分选模块成本高、实时性和稳定性较差^[19-28]。为此,本文设计一种双侧双 CCD (Charge coupled device) 色选检测系统,既可分选出“红种”和破损、破碎棉种,又可保证分选系统的实时性和稳定性。

1 总体设计

脱绒棉种具有 2 个特征信息:一是颜色信息,即区分“红种”的红棕色和成熟的褐黑色;另一个是破损信息,即区分局部破损还是严重破损。当一束特定光照射在脱绒棉种上时,其表面信息所反射回来的光带有成熟与破损等特征信息。因此,可设计一种新的检测系统和方法。其中,线阵彩色 CCD 采集脱绒棉种颜色信息,完成色度和成熟度判断,线阵黑白 CCD 采集脱绒棉种完整度(破损、破碎)信息,如图 1 所示。设计理论和实践依据参考文献[13-28]:①利用色选技术建立的颜色模型可以对成熟度进行判别。②利用机器视觉技术可以对破损、破碎脱绒棉种进行分选识别,并且前人研究中所用到的判别方法如圆形度、对称性、轮廓曲率变化等,均与颜色信息无关,故采用黑白 CCD 对完整度信息进行分析。③在设计检测光路时,使用彩色 CCD 接收反射光信息,黑白 CCD 接收折射光信息,是基于光

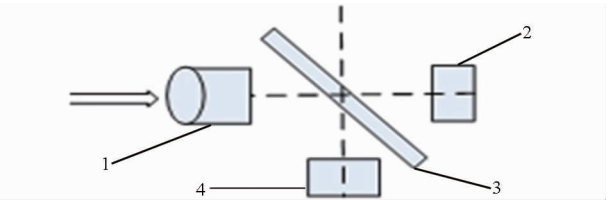


图 1 检测系统光路示意图

Fig. 1 Diagram of light path in detection system

1. 镜头 2. 线阵 CCD(黑白) 3. 析光平面镜(镀透反比膜层)
4. 线阵 CCD(彩色)

束经过折射后强度必然比反射后强度要小的原理。

所设计的脱绒棉种色选机主要是针对棉种成熟度和完整度进行分选,分选出红棕色“红种”、褐黑色成熟棉种、不完整棉种、完整棉种,即完整“红种”、不完整“红种”、不完整成熟棉种以及完整成熟棉种。影响分选率等性能的核心部件是检测系统,因此本文针对检测系统进行了系统分析。检测系统包括光学子系统、采集子系统和处理子系统,图 2 为检测系统总体框图。

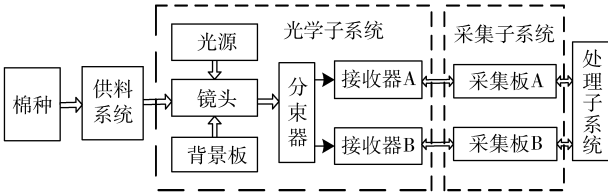


图 2 检测系统总体框图

Fig. 2 Block diagram of detection system

脱绒棉种色选机整体包括供料、检测、分选以及执行机构。从图 3 脱绒棉种色选机分选系统和结构布局图可知,色选机分前、后检测单元,分别对脱绒棉种进行两侧检测。脱绒棉种色选机工作过程:待选物料(脱绒棉种)经供料系统喂料到达检测区域,检测系统对物料进行特征信息采集,信息处理后将特征信息传输到分选模块以做判别,执行机构依据分选信息分级物料。

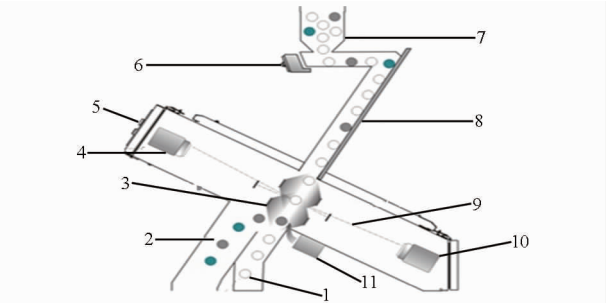


图 3 脱绒棉种色选机分选实现布局图

Fig. 3 Layout of delinted cottonseeds color sorter

1. 成品出口 2. 副出料口 3. 前景灯 4. 前置 CCD 相机 5. 电源开关 6. 振动喂料器 7. 进料斗 8. 料槽 9. 背景板 10. 后置 CCD 相机 11. 吹嘴系统

2 系统关键模块设计

2.1 光学系统设计

脱绒棉种检测时,为获得棉种的全面三维数据,光学系统采用对射式布局,如图 3 所示。光学系统包括光源、背景板、光电接收器以及成像光路结构。

2.1.1 光源

色选机光源选择主要考虑光源稳定性好、分布均匀、发光效率高等要素,大多数色选机使用日光灯作为照明光源。本设计采用彩色 CCD 和黑白 CCD 作为接收器,考虑到日光灯光谱是由一些波长分离的单色光谱带组成,且光谱区不连续、波长能量不均和日光灯光强随着使用时间变化明显等,本设计采用高强度 LED 作为光源。并将 LED 灯珠并联焊接在专用散热铝型材上,解决 LED 灯散热问题;使用乳白色亚克力灯罩获得均匀稳定光源。

2.1.2 背景板

色选机检测系统一般都有背景板,经过试验确定暗背景和亮背景分别针对分选系统的正选和反选模式。

2.1.3 接收器

色选机系统常见接收器有传统的光电倍增管、光伏接收器(硅光电池、硒光电池、光电二极管、光电三极管)和 CCD 图像传感器。本系统从脱绒棉种光谱响应、灵敏度以及传感器精度等方面考虑,选用日本东芝公司的含有 5 340 像素 × 4 行的 TCD2566BFG 型线阵 CCD 作为彩色 CCD 接收器,选用东芝公司的含有 2 048 像素 × 1 行的 TCD1209D 型线阵 CCD 作为单色 CCD 接收器,分别对脱绒棉种进行成熟度(颜色)信息和完整度(破损)信息采集。

2.1.4 成像光路结构

成像的品质直接影响到检测系统的分辨率。光源投射到待测脱绒棉种,反射光通过透镜作用于接收器的 CCD 靶面,形成清晰的图像信息。

设计中使用了标准的定焦镜头,焦距 50 mm,等效焦距 75 mm,最小对焦距离 450 mm,最大光圈 1.8,最大放大倍率为 1:6.6,滤镜直径为 52 mm;采用的双 CCD 同为线阵接收器,有效接收区(靶面)在计算中只取长度参数,约 28 mm。每个 CCD 接收器对应一组溜槽(32 通道,设计宽度为 270 mm)。根据以上参数确定镜头的放大倍数约为 0.1;镜头焦距为 50 mm,则镜头的工作距离为 500 mm。

依据 2 个不同的 CCD 靶面要在同一时刻采集信息,实现镜头溜槽内的棉种反射光束分成两束进入对应的 CCD 靶面,在成像光路中加入光线分束器

结构,如图 4 所示。

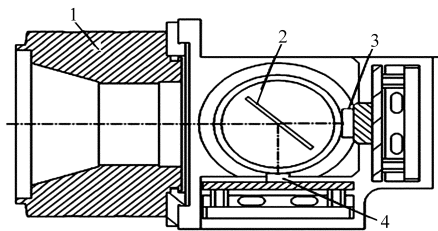


图 4 成像光路结构图

Fig. 4 Structure diagram of imaging light path

1. 成像镜头 2. 1:1 分束器 3. 黑白 CCD(TCD1209 型) 4. 彩色 CCD(TCD2566BFG 型)

分束器使用的是镜头专用分束器,分束能量比例为 1:1,光谱区为可见区(380 ~ 760 nm),单面镀半反膜。分束器厚度为 0.5 mm,基底材料为 K9 玻璃。为了尽可能减小因分束器引入的像差,分束器平面度要求为小于等于 $\lambda/20$,其中 λ 为中心波长(532 nm)。同时考虑到光束透射玻璃基底时会产生色散,彩色 CCD 布置于分束器的反射侧,其光路不经过分束器基底玻璃。

2.2 采集系统设计

采集系统主要是对待测物料进行分选特征信息采集,采集系统主要对 2 个 CCD 进行工作驱动和数据采集。

因为不同特性的 CCD 工作方式和工作所需的具体时序不一样,因此实现 CCD 工作的驱动方法有很多种。目前常用主要驱动方法有 EPROM(Erasable programmable read only memory)驱动方法、单片机驱动方法、专用 IC 驱动方法及可编程逻辑器件设计法等。其中 EPROM 驱动方法利用事先存放在 EPROM 中的驱动时序对 CCD 进行驱动,该方法无需对硬件电路进行太大的变化,其调试简便,但是存储数据不能在系统修改,复杂时序实现难度大;单片机驱动方法利用指令延时或定时器中断生成驱动时序,该方法的实现所需软硬件条件简单、调节时序方便,但是驱动频率较高时则无能为力,并且资源浪费较大;专用 IC 驱动方法利用专业 IC 控制几路脉冲驱动时序,该方法集成度高、功能强,但是适合特定应用场合过于保守,灵活性不好且成本高;可编程逻辑器件设计法利用时序发生原理,利用相关软件进行程序编译并下载到可编程芯片完成时序实现,该方法集成度高、速度快、可靠性好、设计灵活并易于修改。考虑以上 CCD 驱动方法的实现原理和各种优缺点,采用基于现场可编程门阵列(Field-programmable gate array, FPGA)对双线阵 CCD 进行驱动设计。

考虑基于 FPGA 双线阵 CCD 采集系统的实现,

采集系统对两 CCD 进行驱动时序编译,使 CCD 对脱绒棉种特征信息进行接收输出,输出有效信号经放大滤波以后,再经 A/D 模数转换,将采集到的特征信息输入 FPGA,为后续相关处理做准备。考虑资源使用等现实情况,选用 ALTERA 公司 Cyclone III 系列 EP3C16Q240C8 作为采集系统处理芯片。同时考虑 FPGA 和 CCD 实际特性,在 FPGA 和 CCD 之间加入升压反相器,实现 CCD 工作时序要求。其中彩色 CCD 与 FPGA 之间选用 TC74ACT240,黑白 CCD 与 FPGA 之间选用 SN74AHCT14N,分别作为升

压反相器完成 CCD 工作时序要求。CCD 数据输出部分选用 TI 公司的 250MHz 高速轨至轨的运算放大器 OPA357 及其配套电路对采集信号进行放大滤波处理, A/D 转换部分选用 AD 公司的 12 位 40MSPS 高性能模数转换器 AD9224 及其配套电路对采集信号进行模数转换,使 FPGA 处理部分能够获得 3 路反映脱绒棉种成熟度的 12 位 R、G、B 特征信号,和 1 路反映脱绒棉种完整度的 12 位 WB 特征信号。采集系统实现框图如图 5 所示。 CCD 和 A/D 软件编程实现如图 6 所示。

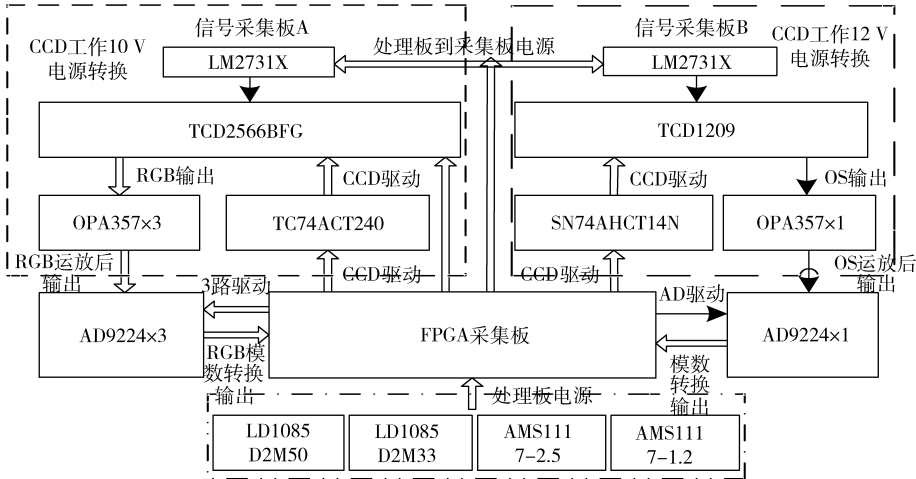


图 5 采集系统硬件框图

Fig. 5 Block diagram of hardware of acquisition system

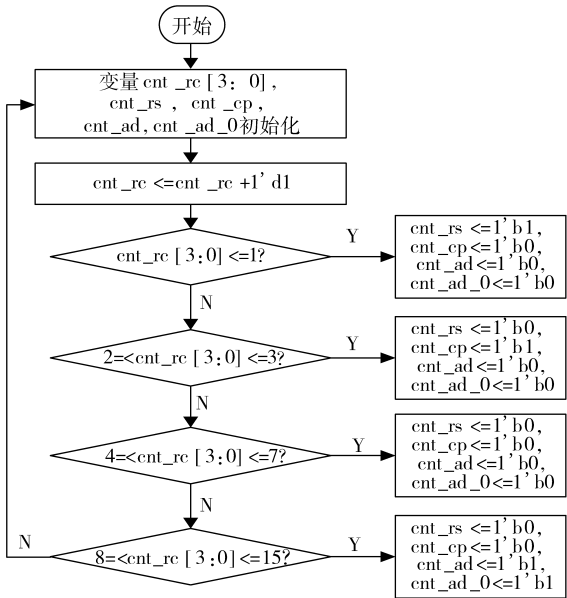


图 6 CCD 驱动和 A/D 转换部分软件实现流程图

Fig. 6 Flow chart of CCD driver and A/D conversion software

2.3 处理系统设计

处理系统主要是对 CCD 采集信号经放大滤波、A/D 转换后的脱绒棉种特征信号进行预处理、完成检测系统与分选模块数据传输部分设计,以及利用

FPGA 与 ARM 完成系统前期试验采样工作。处理系统工作如图 7 所示。

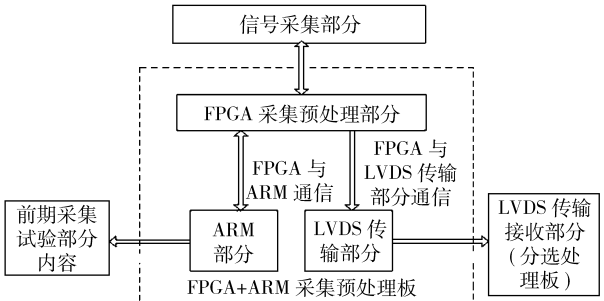


图 7 处理系统实现框图

Fig. 7 Diagram of processing system

由于 CCD 每次行扫描时均有虚设单元输出,例如 TCD2566BFG 行扫前有 38 单位虚设输出,行扫后 12 单位虚设输出,在软件编程中需考虑在内。为此,CCD 数据输出时可以将虚设单元输出视为干扰信号,故将经 A/D 转换后特征信息数字信号经滤除操作,对采集到的特征信息进行简单预处理。经预处理后的信号传输至分选模块,为分选处理提供特征信息。考虑脱绒棉种色选机结构布局,以及 CCD 采集速度较快,为此在检测系统与分选模块之间应用 LVDS 技术对脱绒棉种采集数据进行传输。

其中LVDS传输部分选用DS90CR481/DS90CR482作为LVDS发送和接收端芯片。处理系统除了对特征采集信息进行预处理和数据传输处理外,还对脱绒棉种进行前期数据采集试验,主要是对脱绒棉种特征信息(完整度、成熟度)进行初步确定工作。其中LVDS数据传输软件实现过程如图8所示,其中DS_OPT、BAL、DESKEW为LVDS传输端和接收端控制信号;FPGA与ARM之间完成采集数据输出,完成系统前期实验采样工作,实现过程如图9所示,其中R、B、G和WB为物料信息采集数据4路信号。

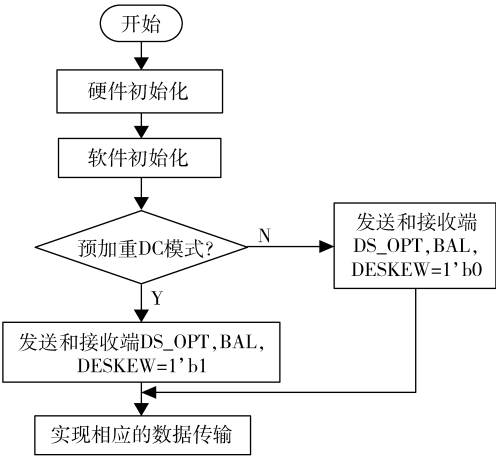


图8 LVDS数据传输软件实现过程

Fig. 8 Implementation process of LVDS data transmission

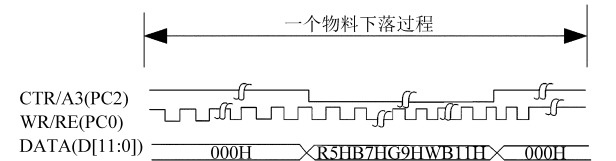


图9 前期试验FPGA与ARM通信过程

Fig. 9 Communication process between FPGA and ARM in early experiments

3 试验验证

系统测试试验内容主要包括:设计的光学成像系统、光源、CCD驱动程序、A/D转换芯片和LVDS传输等是否正常工作。

系统测试试验流程:按照脱绒棉种色选机布局图对其进行系统搭建,在选择的光源下,利用毛玻璃查看成像光路是否正确,调节成像光路结构,使在毛玻璃上出现最亮线条,表示在CCD接收器靶面上可以出现清晰的图像,对光路结构完成粗调整。将CCD按照布局要求进行安装,利用FPGA在线仿真对其CCD采集板进行光路细调整,光路调整后,利用选择的光源进行光源调试,并对检测系统进行采集数据测试。在应用FPGA在线仿真前,先对CCD

和A/D转换芯片是否正常工作进行测试。

图10为FPGA输出给CCD驱动时序在线仿真图,通过在线仿真图可知,时序符合CCD工作要求,其中部分时序与两CCD驱动时序在技术手册上有所差异,主要原因是驱动时序幅值与FPGA输出幅值有差异,与升压反相器作用有关。图11为对13齿不规则校准器件进行CCD数据采集的仿真图,反映CCD能够正常工作,并且A/D转换芯片能够正常工作,在线仿真图能够完全反映现实情况。图12和图13为对13齿校准器件进行数据采集后,LVDS数据传输前后在线仿真图,该图反映LVDS传输芯片能够正常工作。



图10 CCD驱动时序在线仿真图

Fig. 10 Online simulation map of CCD drive timing

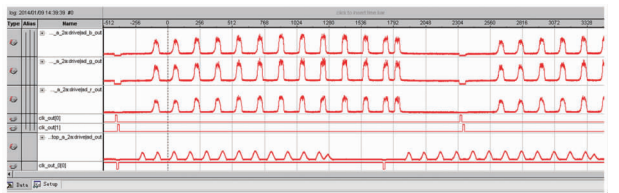


图11 CCD和A/D转换工作在线仿真图

Fig. 11 Online simulation map of CCD and A/D converters

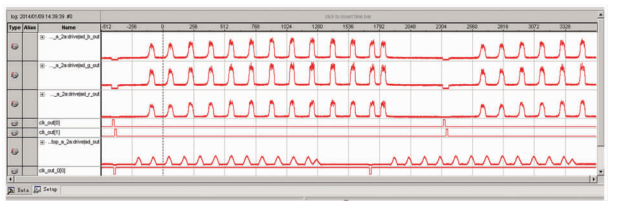


图12 LVDS数据传输发送前在线仿真图

Fig. 12 Online simulation map of data before LVDS transmission

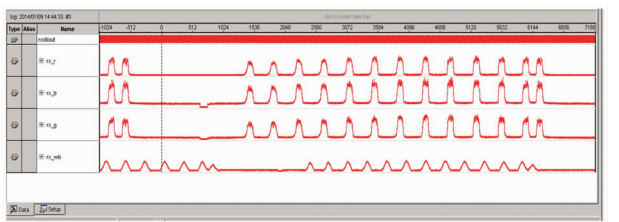


图13 LVDS数据传输接收后在线仿真图

Fig. 13 Online simulation map of data after LVDS transmission

仿真测试和实际测试试验表明基于双CCD的脱绒棉种色选机检测系统能够满足设计要求,也验证了检测系统设计的正确性。

4 结束语

给出了一种基于双 CCD 脱绒棉种的检测系统设计过程和测试分析方法。分别从检测系统总体、光学子系统、采集子系统、处理子系统和测试试验进

行设计叙述,表明所设计检测系统可以解决当前色选或机器视觉技术单一使用时脱绒棉种分选效果不佳问题,设计和调试能够满足系统结构和技术要求,满足脱绒棉种分选机功能要求。

参 考 文 献

- 1 张若宇. 基于 RGB 颜色模型脱绒棉种分选控制系统设计研究[D]. 石河子:石河子大学,2007.
Zhang Ruoyu. Design and study on the delinted cottonseeds color sorting control system based on the RGB color model[D]. Shihezi:Shihezi University, 2007. (in Chiense)
- 2 王履程,谭筠梅,王小鹏,等. 基于机器视觉的枸杞分级方法[J]. 计算机工程与应用,2013,49(24):16-18.
Wang Lücheng, Tan Junmei, Wang Xiaopeng, et al. Wolfberry classification method based on machine vision[J]. Computer Engineering and Applications, 2013,49(24):16-18. (in Chiense)
- 3 于新国. 棉种色选机对棉种质量的影响[J]. 现代农业科技,2010(2):107.
- 4 邵鲁浩,坎杂,李景彬,等. 脱绒棉种分选关键技术研究现状——基于机器视觉技术[J]. 农机化研究,2011(8):223-225.
Shao Luhao, Kan Za, Li Jingbin, et al. Research status in the cotton seed key technology of separating based on machine vision technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011(8):223-225. (in Chiense)
- 5 朱江丽,李景彬,坎杂,等. 新疆兵团脱绒棉种分选现状及发展趋势[J]. 农机化研究,2008(1):216-219.
Zhu Jiangli, Li Jingbin, Kan Za, et al. The simple analysis of the current situation and the development tendency of sorting cotton seed which escaping the fabric in Xinjiang Production and Construction Corps[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(1):216-219. (in Chiense)
- 6 坎杂,李景彬,王丽红,等. 新疆兵团脱绒棉种分选加工现状及发展趋势浅析[C]//中国农业工程学会2005年学术年会论文集,2005(1):381-384.
- 7 徐东,宋玉秋,辛明金,等. 蔬菜种子物理特性和空气动力学特性试验研究[J]. 农机化研究,2007(4):112-114.
Xu Dong, Song Yuqiu, Xin Mingjin, et al. Experimental study on physical and aerodynamic properties of vegetable seed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(4):112-114. (in Chiense)
- 8 李景彬,坎杂,张若宇,等. 基于机器视觉的脱绒棉种“破碎”特征检测技术[J]. 农机化研究,2010(8):170-172.
Li Jingbin, Kan Za, Zhang Ruoyu, et al. The detected technology of destroyed characteristic of cotton seeds based on machine vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(8):170-172. (in Chiense)
- 9 杨炳正,坎杂,王丽红,等. 脱绒棉种介电分选机电场的有限元分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2008,26(1):91-94.
Yang Bingzheng, Kan Za, Wang Lihong, et al. Finite element analysis on the electric field of dielectric delinted cottonseed separator[J]. Journal of Shihezi University:Natural Science,2008,26(1):91-94. (in Chiense)
- 10 王磊,刘巧,杨秉政. 脱绒棉种介电分选机电场的研究[J]. 农机化研究,2009(3):59-62.
Wang Lei, Liu Qiao, Yang Bingzheng. Finite element analysis on the electric field of dielectric delinted cottonseed separator [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(3):59-62. (in Chiense)
- 11 坎杂,谷趁趁,王丽红,等. 脱绒棉种介电分选参数的优化[J]. 农业工程学报,2010,26(9):114-119.
Kan Za, Gu Chenchen, Wang Lihong, et al. Optimization of parameters for delinted cottonseeds dielectric selection [J]. Transactions of the CSAE,2010,26(9):114-119. (in Chiense)
- 12 谷趁趁,坎杂,王丽红,等. 脱绒棉种介电常数与含水率的关系[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2010,28(5):625-627.
Gu Chenchen, Kan Za, Wang Lihong, et al. Relationships between moisture and dielectric constant of the cottonseed separator [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2010,28(5):625-627. (in Chiense)
- 13 李景彬,坎杂. 颜色模型在脱绒棉种检测分级中的应用[J]. 石河子大学:自然科学版,2008,26(4):507-510.
Li Jingbin, Kan Za. The application of color model in checking and classifying cottonseeds[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2008,26(4):507-510. (in Chiense)
- 14 李江波,坎杂,张若宇,等. 脱绒棉种色选机光学系统的实现[J]. 农机化研究,2008(5):86-88,92.
Li Jiangbo, Kan Za, Zhang Ruoyu, et al. Realization of cotton-seeds color sorter optical system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(5):86-88,92. (in Chiense)
- 15 张若宇,坎杂,江英兰,等. 基于 RGB 模型脱绒棉种质量与颜色特征的相干性分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2008,26(6):750-753.
Zhang Ruoyu, Kan Za, Jiang Yinglan, et al. Relativity analysis between color features parameter and delinted cottonseeds quality based on the RGB color model[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science,2008,26(6):750-753. (in Chiense)
- 16 张若宇,坎杂,江英兰,等. 脱绒棉种颜色分选系统 V 型溜槽关键参数的分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2008,26(5):626-629.

Zhang Ruoyu, Kan Za, Jiang Yinglan, et al. Analysis on the key groove parameters of delinted cottonseeds in color sorter system [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2008, 26(5): 626 – 629. (in Chiense)

17 坎杂, 李景彬, 江英兰, 等. 5MZX-96 脱绒棉种色选机的设计研究[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2005, 23(6): 749 – 751.

Kan Za, Li Jingbin, Jiang Yinglan, et al. Research on designing 5MZX-96 color sorter of the cotton seed escaping the fabric [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2005, 23(6): 749 – 751. (in Chiense)

18 李江波, 坎杂, 张若宇. 基于 DSP 的脱绒棉种色选机光电检测系统的设计[J]. 农业技术与装备, 2007(10): 24, 26.

19 陈兵旗, 高振江, 宋同珍, 等. 棉种图像精选方案与算法研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 167 – 171.

Chen Bingqi, Gao Zhenjiang, Song Tongzhen, et al. Scheme and algorithm of cottonseed selection based on image processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 167 – 171. (in Chiense)

20 彭江南, 谢宗铭, 杨丽明, 等. 基于 Seed Identification 软件的棉籽机器视觉快速精选[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 147 – 152.

Peng Jiangnan, Xie Zongming, Yang Liming, et al. Quickly selection for cotton seed based on Seed Identification software[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(23): 147 – 152. (in Chiense)

21 邵鲁浩, 坎杂, 李景彬, 等. 基于形状特征的脱绒棉种品种识别[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊2): 86 – 89.

Shao Luhao, Kan Za, Li Jingbin, et al. Cotton seeds varieties identification based on shape features[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp. 2): 86 – 89. (in Chiense)

22 Li Jingbin, Chen Bingqi, Shao Luhao, et al. Variety identification of delinted cottonseeds based on BP neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 10, 28(2): 265 – 269.

23 李景彬, 坎杂, 江英兰, 等. 基于机器视觉的脱绒棉种外观质量检测装置的研究[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2006, 24(6): 761 – 764.

Li Jingbin, Kan Za, Jiang Yinglan, et al. Research on the detected device of delinted cottons' appearance quality based on the machine vision[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2006, 24(6): 761 – 764. (in Chiense)

24 陈立国, 王库. 基于 TMS320DM642 的嵌入式棉籽识别系统[J]. 农机化研究, 2007(2): 178 – 181.

Chen Ligu, Wang Ku. Embedded cottonseed identification system based on TMS320DM642 [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(2): 178 – 181. (in Chiense)

25 张俊雄, 陈涛, 于振东, 等. 基于计算机视觉的新疆棉种颜色分选系统设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 161 – 164.

Zhang Junxiong, Chen Tao, Yu Zhendong, et al. Xinjiang cotton seed color separation system based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 161 – 164. (in Chiense)

26 李伟, 于振东, 陈涛, 等. 基于形态学的棉花种子破损检测[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 169 – 172.

Li Wei, Yu Zhendong, Chen Tao, et al. Identification and detection for surface damages of cottonseed based morphology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 169 – 172. (in Chiense)

27 刘韶军, 王库. 基于机器视觉的棉种破损检测技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 186 – 189.

Liu Shaojun, Wang Ku. Detection of damaged cottonseeds using machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 186 – 189. (in Chiense)

28 邓向武, 坎杂, 李景彬, 等. 基于 MATLAB GUI 设计的脱绒棉种颜色特征提取系统[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 374 – 376.