

基于FPGA的脱绒棉种色选机实现*

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: 通过对当前脱绒棉种分选实现方法的对比,给出了一种双CCD(Charge-coupled device)检测FPGA(Field-programmable gate array)分选实现的方法。通过图像采集模块、数据传输模块和分选模块的分析与设计,结合仿真分析和测试试验,验证了色选机系统效果。其中,图像采集模块采样彩色线阵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;数据传输模块完成采集数据的传输任务;分选模块依据成熟度和完整度信息对棉种进行判别分析。试验结果表明,色选机系统能够完成对棉种特征信息的采集、数据传输以及分选判别工作,能够满足色选机设计要求。

关键词: 脱绒棉种 双CCD检测 成熟度 完整度 现场可编程门阵列

中图分类号: S375; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)08-0020-07

Implementation of Delinted Cottonseeds Color Sorter Based on FPGA

Yu Shuhua Liu Yanli Wang Shipu Du Hongyun

(Tianjin Institute of Optics and Fine Mechanics, Tianjin 300384, China)

Abstract: Currently the phenomenon of red-seed (the maturity of cottonseed is low) exists in the cottonseed processing. Most of the domestic cottonseed processing companies still rely on artificial monitoring to check the red-seed. However, visual inspection of workers exists some problems such as low automation level, large subjective factors and high labor costs. And breakage of cottonseed germination rate and other issues were resulted from the process of cottonseed processing. To solve these problems, a bilateral dual CCD (Charge-coupled device) detection and FPGA (Field-programmable gate array) sorting approach were presented. Through the analysis and design of the image acquisition module, data transmission module and sorting module, and combined with simulation and test trials, the effect of color sorter system was verified. Among them, the image acquisition module can acquire the maturity and integrity information of delinted cottonseeds by using color linear CCD and monochrome linear CCD sampling. Data transmission module is to complete the transfer task of data collection. Sorting module is based on cottonseed maturity and integrity information to sort discriminant delinted cottonseed quality. The results showed that color sorter system can complete the cottonseeds feature information collection, data transmission and sorting discrimination work, which met the color sorter design requirements.

Key words: Delinted cottonseeds Dual CCD detection Maturity Integrity FPGA

引言

棉种是棉花生产的基础,棉花种子品质直接影

响棉花产量和纤维质量^[1]。诸多因素对棉种品质产生影响^[2-4],如棉花生长期虽然能够正常开花,但是棉种种子成熟度下降明显;又如棉种加工过程中,

收稿日期:2014-11-07 修回日期:2015-01-13

*“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,主要从事智能信息处理与嵌入式应用研究,E-mail: yushuhua@163.com

通讯作者:杜鸿运,高级工程师,主要从事光学仪器研究,E-mail: banner-du@163.com

棉种经过滚筒、提升机等过程,出现了破损、破碎的棉种^[5]。因此,需要对脱绒棉种进行成熟度和完整性识别。

目前对棉种进行分选的方法有传统方法和精选分选法,其中利用棉种空气动力学、几何特征和比重特性的传统分选方法,虽然可以获得外形饱满的棉种,但是不能保证分选出的棉种是满足要求的成熟完整棉种^[2-6]。利用介电、颜色和机器视觉技术进行精选,虽然可以获得活力较高的棉种和剔除不成熟的红色种子,但是这些技术对破损棉种无法进行剔除或者因处理时间长不能应用于高速的流水线上对物料进行分选^[7-13]。本文提出一种双 CCD 检测和基于 FPGA 分选实现的方法。

1 系统总体设计

脱绒棉种色选机包括供料模块、检测模块、分选模块以及执行模块,其中供料模块包括进料斗、喂料斗、滑槽等;检测模块包括光学子模块、CCD 采集子模块和处理子模块;分选模块包括分选处理部分和分选控制部分;执行模块主要是分选执行机构。供料模块保证均匀、稳定的物料流准确进入检测区域和分选区域;检测模块是在光学子模块保证下获取待测物料准确的特征信号;分选模块是对采集信号进行分选相关算法处理,并给出相应的分选执行控制信号;执行模块是获取分选执行控制信号后对分选区域物料进行快速、精确地执行动作。本文所设计的脱绒棉种色选机分选实现布局如图 1 所示。

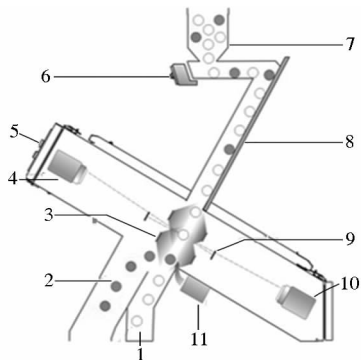


图 1 脱绒棉种色选机分选实现布局图

Fig. 1 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

脱绒棉种色选机主要是针对红棕色的“红种”棉种、褐黑色的成熟棉种以及破损棉种进行分选识别,为此本文提出分别针对脱绒棉种的成熟度(红棕色、褐黑色)和完整性(完整棉种、破损和破碎棉种)进行分选识别方法。实现过程如下:脱绒棉种

经喂料模块到达检测区域,利用定制的双 CCD 相机对脱绒棉种进行两侧特征信息采集,其中定制 CCD 相机是利用物料反射光获取特征信息,CCD 相机中的彩色 CCD 利用物料特征信息反射光经分束器反射信息提取物料的成熟度特征(颜色信息),CCD 相机中的黑白 CCD 利用物料特征信息反射光经分束器折射信息提取物料的完整性特征(破损、破碎)。在 CCD 相机获取物料特征信息后,经 FPGA 采集板预处理后,利用低压差分信号(Low voltage differential signaling, LVDS)技术将采集特征数据传传输至分选处理板进行物料成熟度和完整性分选,并给出执行信号,将已进入分选区域的物料进行电磁阀控制喷气喷入副料出口或者物料自行掉入成品出口完成脱绒棉种的识别分选。系统实现流程如图 2 所示。

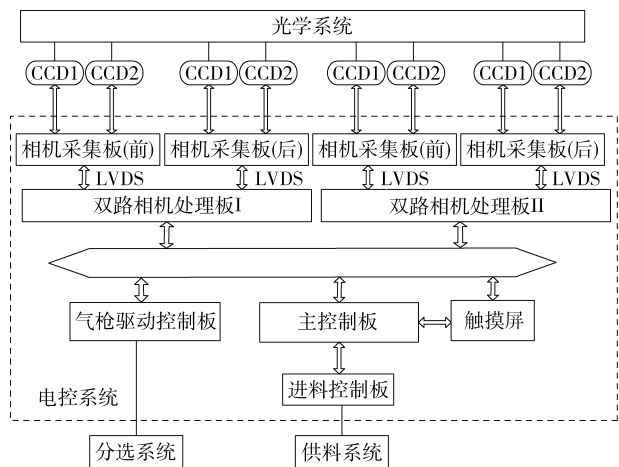


图 2 两路独立通道的脱绒棉种识别分选示意框图

Fig. 2 Schematic block diagram of delinted cottonseed sorter based on two independent channels

本文给出的是一种双 CCD 检测基于 FPGA 分选实现的方法,其中双 CCD 检测部分的彩色 CCD 选用东芝公司的 TCD2566BFG 图像传感器,黑白 CCD 选用东芝公司的 TCD1209D 图像传感器,两 CCD 分别对物料进行成熟度特征信息采集和完整性特征信息采集。图 3 所示为定制双 CCD 光学成像结构图。

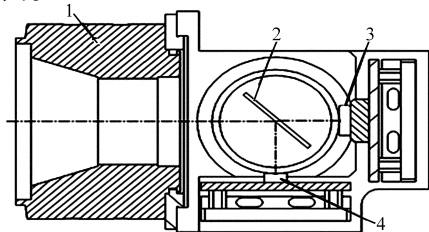


图 3 双 CCD 光学成像结构图

Fig. 3 Structure diagram of dual CCD optical imaging

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

2 设计及验证过程

基于 FPGA 的脱绒棉种色选机实现过程主要包括 CCD 采集数据设计, LVDS 数据传输设计以及分选设计, 其中 CCD 采集数据设计包括 CCD 驱动设计以及采集数据预处理; LVDS 数据传输设计由传输模式确定; 分选设计是分选处理工作。

2.1 CCD 采集数据设计

CCD 采集数据需对 CCD 进行工作驱动, 不同的

CCD 工作方式和工作时序不一样。常见 CCD 驱动方法有 EPROM 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, 通过对当前 CCD 驱动方法和两 CCD (TCD2566BFG 和 TCD1209D) 的认识, 选用基于 FPGA 来实现 CCD 工作驱动。考虑脱绒棉种色选机检测模块和 FPGA (资源、引脚等) 工作实际问题, 选用 ALTERA 公司 Cyclone III 系列 EP3C16Q240C8 作为脱绒棉种色选机检测系统处理芯片, 其中 CCD 采集部分实现框图如图 4 所示。

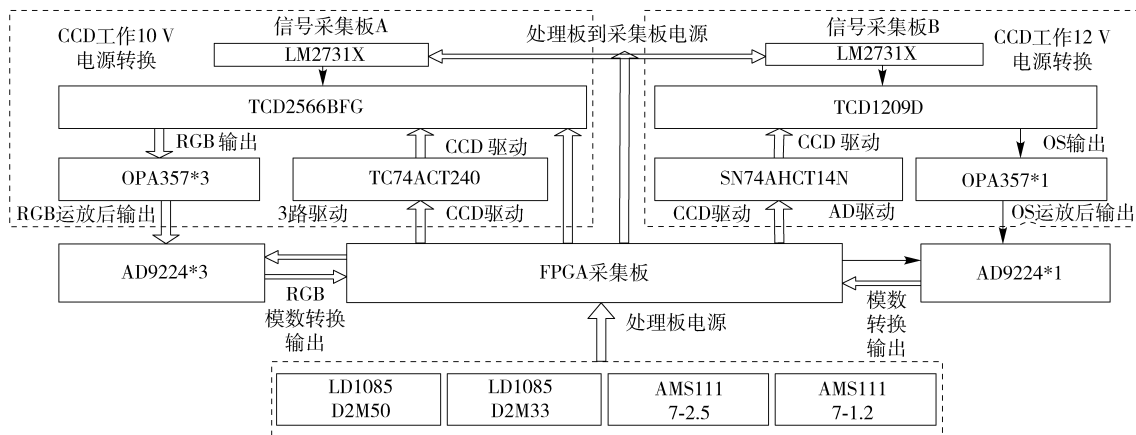


图 4 CCD 采集数据硬件设计框图

Fig. 4 Block diagram of CCD acquisition system with hardware

CCD 采集数据部分经 FPGA 编译生成 CCD 工作所需的工作时序, CCD 工作对物料进行数据采集, 采集数据经放大滤波、A/D 转换后输入 FPGA 进行采集数据预处理。通过 Quartus II 9.0 中 SignalTap II Logic Analyzer 和利用定制的 13 不等

距不规则校准器对 CCD 采集数据情况、A/D 模数转换情况进行验证, 在线仿真如图 5 所示。通过在线仿真波形和校准器可以表明 CCD 采集数据和 A/D 转换正常工作, 同时利用校准器可以对滑槽进行通道划分。

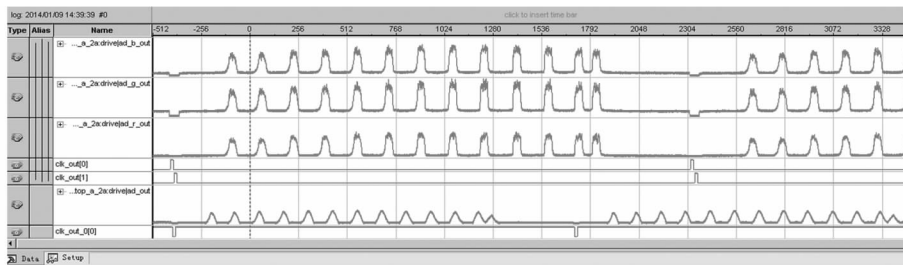


图 5 两 CCD 数据采集工作验证在线仿真

Fig. 5 Online simulation map of dual CCD data collection verification

2.2 LVDS 数据传输设计

由于脱绒棉种色选机结构的布局原因, 检测模块与分选模块之间相隔距离较远, 考虑传输距离大、数据量大、传输效率和精度等原因, 采用 LVDS 技术对采集数据进行传输。选用美国 NS (National Semiconductor) 公司生产的 DS90CR481 和 DS90CR482 分别作为 LVDS 传输发送芯片和接收芯片, 其发送和接收频率在 65 ~ 112 MHz。

利用 Quartus II 12.0 中 SignalTap II Logic

Analyzer 对采集数据传输情况进行在线仿真试验, 通过对不同传输模式测试, 采样非 DC 非抗扭斜模式配置传输芯片。同时使用定制的 13 不等距不规则校准器对 LVDS 数据传输进行验证, 传输前采集数据如图 5 所示, 经过 LVDS 传输接收端数据如图 6 所示, 两图对比表明 LVDS 数据传输部分是可行的。

2.3 分选设计

分选模块需对脱绒棉种进行成熟度和完整度分选处理判别, 并发出相应的执行控制信号。分别利

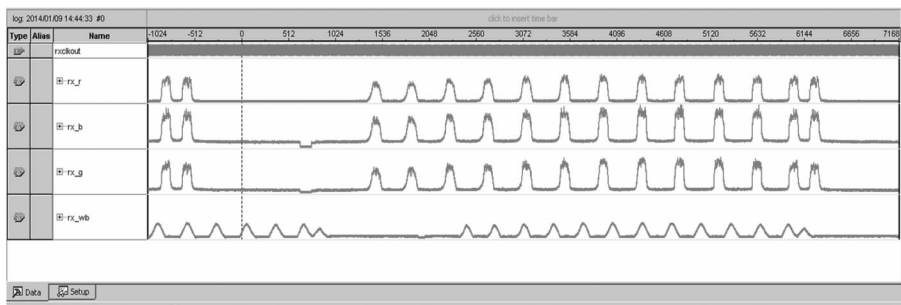


图 6 LVDS 接收端在线仿真图

Fig. 6 Online simulation map of LVDS receiving side's data

用颜色分选模型和破损分选模型对物料进行成熟度和完整度判别。其中,颜色分选模型是利用 RGB 设置阈值进行物料成熟度判定,破损分选模型是从局部破损和严重破损对物料完整度做判定。分选实现流程如图 7 所示。

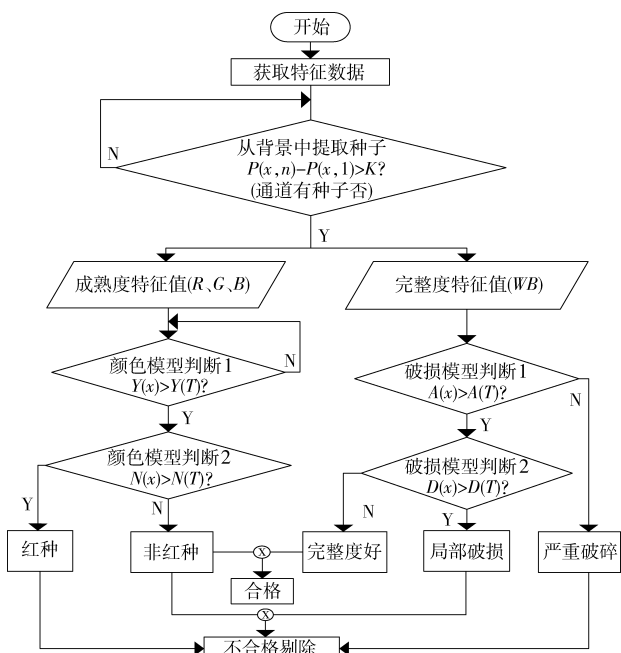


图 7 脱绒棉种色选机分选实现流程图

Fig. 7 Flowchart of delinted cottonseeds color sorter sorting

分选流程: 首先获取物料特征数据, 再利用 $P(x, n) - P(x, 1) > K$ 判别通道是否有种子, 从而从背景中提取出成熟度和完整度信息, 再根据相关分选模型进行分选判定。其中, $P(x, n)$ 表示第 n 次采集 R, G, B, WB 信息, $P(x, 1)$ 为刚开始无物料时 R, G, B, WB 信息, 其中 x 表示线阵 CCD 第 x 位置像素。通过试验测试: R, G, B, WB 像素强度分别为 $R(x, 1) = 160, B(x, 1) = 180, G(x, 1) = 250, WB(x, 1) = 100$, 对应的阈值 k_1, k_2, k_3 和 k_4 分别为 5、7、11 和 9 时, 可以排除背景干扰, 能够判定通道中是否有物料。

在获知通道内有物料棉种后, 根据划分的通道分别对在物料进行成熟度和完整度判别。其中, 成

熟度判别是根据颜色模型对物料进行判别, 实现过程是首先根据颜色模型阈值 $Y(x) > Y(T)$ 进行颜色像素判别, 再对符合要求的像素个数 $N(x) > N(T)$ 进行统计判断。通过对单个物料进行大量试验, 并利用设计的硬件平台将每一物料采集的特征信息数据导出, 利用 Matlab 和 Excel 数据处理工具对采集数据进行分析比较, 如表 1 所示。分别对成熟的合格棉种(个体)和红色的不合格棉种(个体)进行分析, 单个合格棉种 R 分量的平均值为 940.38, G 分量的平均值为 1349.61, B 分量平均值为 792.25, 而单个的红色棉种 R 分量的平均值为 1179.87, G 分量的平均值为 1479.09, B 分量平均值为 1295.88, 从单个体上各分量强度在平均值上能够区分。同时, 对单个棉种各分量强度分别以直方图统计得出, 对于合格棉种 R 分量以 1771.6 为界限有效比例为 87.79%, G 分量以 2436.6 为界限有效比例为 87.68%, B 分量以 1537.3 为界限有效比例为 91.92%, 而红色棉种 R 分量以 2042.5 为界限有效比例为 85.09%, G 分量以 2692.1 为界限有效比例为 88.53%, B 分量以 1890.8 为界限有效比例为 80.04%。为此, 设定颜色像素强度阈值分别为 $R(T) = 1850, G(T) = 2550, B(T) = 1650$, 完成颜色模型第 1 部分颜色像素值判别, 接着像素个数判别阈值设定 $NR(T) = 20, NG(T) = 14, NB(T) = 8$ 对满足要求颜色像素个数完成设置。

表 1 脱绒棉种颜色模型各分量统计比较

Tab. 1 Statistical comparisons of each component color model delinted cottonseeds

参数	棉种种类					
	合格			红色		
	R	B	G	R	B	G
单个体平均值	940.38	792.25	1349.61	1179.87	1295.88	1479.09
直方图分选界限	1771.6	1537.3	2436.6	2042.5	1890.8	2692.1
比例/%	87.96	91.92	87.68	85.09	80.04	88.53

在同一通道就同一单个物料棉种进行成熟度判

别的同时,利用黑白 CCD 采集的特征数据进行完整度判别。完整度分选要区分严重破损、局部破损和完好棉种的差别。在对物料进行精选前,脱绒棉种已经经过了传统方法的分选,故在精选部分棉种的大小基本相当,也正是这一过程,增加了棉种破损的概率。为此,对破损棉种首先考虑严重破损情况,一旦出现严重破损棉种,通过执行机构将其剔除。通过 50 组正常和局部破损棉种和 50 组严重破损棉种进行大小试验,统计单个棉种面积大小(像素个数),如图 8 所示。其中,单个棉种面积平均值为 165.44,单个正常和局部破损的棉种为 160~383,而单个严重破损的棉种为 30~147。利用 $A(x) > A(T)$ 对单个棉种进行是否为严重破损的判断,设置阈值 $A(T) = 155$,一旦单个棉种面积小于阈值,通过执行机构将其剔除,如果符合要求将继续进行完整度判断。

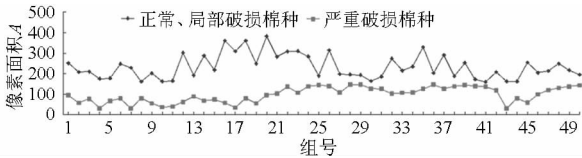


图 8 脱绒棉种像素面积大小对比

Fig. 8 Comparison of pixel area size of delinted cottonseeds

对于局部破损与完整的棉种判别,基于对称性进行分析,完整的棉种对称性好,外形轮廓光滑,如

果对棉种进行等距离切割,切割线的长度变化是规律的,基本是小-大-小规则的变化;而对外形不完整的棉种,如有局部破损,切割线变化不是规律的,会出现凹凸现象。基于线阵 CCD 对物料进行数据采集,线阵 CCD 每次对物料进行行扫描犹如对物料进行等距离切割,采集数据所得像素个数可以很好反映每次切割线的长短,通过对物料进行数次切割,物料外形基本可以确定,物料破损情况便可知晓。对物料进行 8 次分割成 9 段,对正常、局部破损的棉种以及严重破损的棉种进行试验,并对单个物料中最小切割线做差分分析,如表 2 所示。对完整棉种做切割线并做差分分析,棉种外形呈现小-大-小的变化趋势,如表 2 中 P 所示符合现实与理论分析。对不同破损程度的棉种做切割分析,如表 2 中 A~O 并未出现规律变化,而是凹凸变化,这也符合现实与理论分析。利用切割线段比差进行阈值 $D(x) > D(T)$ 破损情况判断,其中 $D(x)$ 为线段比差,表示对物料进行切割像素个数统计值与其中最小像素个数值做差, $D(T)$ 为破损阈值。通过试验分析,破损的棉种 $D(x)$ 变化不大,有时大于 20 有时小于 20,而完整的棉种 $D(x)$ 变化是规律的,并线段比差均小于 20。为此,设定阈值 $D(T) = 20$,一旦单个棉种线段比差超高阈值,通过执行机构将其剔除,完成对棉种完整度的判别。

表 2 脱绒棉种破损情况统计比较

Tab. 2 Statistical comparisons of damage extent of delinted cottonseeds

序号	线段对差															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	5	15	3	10	8	0	10	11	37	25	20	0	6	0	9	5
2	4	0	0	4	4	9	0	4	0	4	17	8	0	19	0	15
3	0	2	9	6	5	5	2	4	11	0	0	6	15	24	8	16
4	5	31	17	20	31	0	21	21	57	12	11	15	24	28	28	16
5	28	24	20	3	16	26	20	24	41	38	12	31	24	25	32	19
6	23	5	11	12	3	25	7	18	43	31	19	17	20	19	28	14
7	6	3	6	0	0	22	5	0	33	26	27	11	20	5	36	8
8	10	9	15	4	15	21	9	6	16	19	26	17	16	8	11	0

3 试验结果

为了验证脱绒棉种色选机系统工作情况,选用新陆早 33 号棉种为试验对象,待选试验物料分别为未成熟的完整棉种、未成熟的局部破损棉种、未成熟的严重破损棉种、成熟的完整棉种、成熟的局部破损棉种、成熟的严重破损棉种各 100 粒,通过执行机构对物料进行分选剔除,被剔除的个体分别为

98、98、99、2、97、98,在中间存在误判误执行的情况,脱绒棉种色选机色选精度达 97.8%。试验现场与试验效果如图 9 所示,其中图 9a 为试验现场脱绒棉种色选机;图 9b 为经过脱绒棉种色选机对物料分选前后对比图,其中图 9b 左上为未成熟的完整棉种,右上为成熟的完整棉种,左下为未成熟的局部破损棉种、未成熟的严重破损棉种、成熟的局部破损棉种、成熟的严重破损棉种,右下为待选脱绒棉种。



图9 脱绒棉种色选机试验及效果对比

Fig.9 Picture of experiment and result comparison of delinted cottonseeds

4 结束语

基于FPGA对脱绒棉种进行色选实现设计,在分析当前分选实现方法比较中,给出了一种基于FPGA两侧双CCD检测分选实现方法。首先从脱绒棉种色选机实现总体进行光机电进行相关说明,接着分别就CCD采集数据、LVDS数据传输和分选处

理设计进行了详细说明,并对其进行相关验证。最后验证表明,基于FPGA双CCD驱动可以获取物料特征信息,基于FPGA进行LVDS数据传输可以满足数据传输要求,基于FPGA分别进行颜色模型成熟度判别和破损模型完整度判别可以对脱绒棉种完成分选判别处理,最后对脱绒棉种色选机进行试验,色选精度达97.8%。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 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 Chinese)
- 3 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 Chinese)
- 4 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,2005:381-384.
Kan Za, Li Jingbin, Wang Lihong, 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[C]//Proceedings of 2005 Academic Annual Meeting of China Institute of Agricultural Engineering,2005:381-384. (in Chinese)
- 5 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 Chinese)
- 6 孙小丽,坎杂,李景彬,等. 5XS系列脱绒棉种色选机参数优化试验[J]. 农业工程学报,2010,26(1):42-45.
Sun Xiaoli, Kan Za, Li Jingbin, et al. 5XS series color sorting cottonseeds parameter optimization[J]. Transactions of the CASE, 2010,26(1):42-45. (in Chinese)
- 7 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 Chinese)
- 8 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 Chinese)
- 9 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 CASE,2010,26(9):114-119. (in Chinese)
- 10 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 Chinese)
- 11 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 Chinese)
- 12 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 CSAE, 2013, 29(23): 147-152. (in Chinese)
- 13 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 Chinese)
- 14 李景彬, 坎杂. 颜色模型在脱绒棉种检测分级中的应用[J]. 石河子大学学报: 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 Chinese)
- 15 Li Jingbin, Chen Bingqi, Shao Luhao, et al. Variety identification of delinted cottonseeds based on BP neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 2): 265-269.
- 16 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 Chinese)
- 17 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 Chinese)
- 18 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 Chinese)
- 19 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 Chinese)
- 20 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.
- 21 李江波, 坎杂, 张若宇, 等. 脱绒棉种色选机常用检测元件对比分析[J]. 新疆农机化, 2007(1): 43-44.
- 22 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 Chinese)
- 23 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 Liguang, Wang Ku. Embedded cottonseed identification system based on TMS320DM642 [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(2): 178-181. (in Chinese)
- 24 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 Chinese)
- 25 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 Chinese)
- 26 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 Shaohun, Wang Ku. Detection of damaged cottonseeds using machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 186-189. (in Chinese)
- 27 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.
- 28 张洪洲, 范修文, 刘建萍, 等. 基于计算机视觉的棉籽优选控制系统设计[J]. 塔里木大学学报, 2014, 26(2): 105-109.
Zhang Hongzhou, Fan Xiuwen, Liu Jianping, et al. Design of control system of cottonseed prioritizing on the basis of computational vision[J]. Journal of Tarim University, 2014, 26(2): 105-109. (in Chinese)
- 29 贾佳, 王建华, 谢宗铭, 等. 计算机图像识别技术在小麦种子精选中的应用[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(5): 180-186.
Jia Jia, Wang Jianhua, Xie Zongming, et al. Wheat seeds selection based on computer image recognition technique[J]. Journal of China Agricultural University, 2014, 19(5): 180-186. (in Chinese)