

小型茶叶智能分选设备控制系统设计

Design of intelligent tea sorting equipment control system

甘 密 李志强 汪 飞 夏先春

GAN Mi LI Zhi-qiang WANG Fei XIA Xian-chun

(贵州省机电研究设计院, 贵州 贵阳 550014)

(Guizhou Electromechanical Research and Design Institute, Guiyang, Guizhou 550014, China)

摘要:目的:解决中国茶叶人工分选效率低、设备价格高、体积大、功能单一等问题。方法:利用图像识别技术,研制了一款小型茶叶智能分选控制系统,该系统根据茶叶和杂质的重力、体积、颜色及形状特征,调节风速、振动频率、颜色和形状特征参数,自动将茶叶和杂质分离。结果:以贵州卷曲状、颗粒状、片状机采茶为样本,对控制系统的性能进行测试。控制系统对 3 种机采茶的平均识别率分别为 86.03%、93.53%、89.46%,产量约 45.8 kg/h,拣选率约 97%,带出比约 5.4:1。结论:茶叶智能分选控制系统,有效提升了茶叶的品质和价值,提高了分拣效率。

关键词:茶叶;智能分选;图像识别;色选;形选

Abstract: Objective: In order to solve the problems on tea production of low efficiency of manual sorting, high cost of equipment, large volume, single function and so on. **Methods:** A small intelligent tea sorting control system was developed by using image recognition technology. According to the gravity, volume, color and shape characteristics of tea and impurities, the system can adjust the wind speed, vibration frequency, color and shape characteristic parameters, and automatically separates tea and impurities. Taking Curl, grain, flake machine-picked tea as the experimental objects, the system performance was tested. **Results:** The average recognition rate of the control system for the three kinds of machine-picked tea were 86.03%, 93.53% and 89.46% respectively. The yield was about 45.8 kg/h, with the picking rate of about 97%, and the takeout ratio of about 5.4:1. **Conclusion:** The intelligent tea sorting control system effectively improves the quality and value of tea and enhances the sorting efficiency.

Keywords: tea; intelligent sorting; image recognition; color selection algorithm; shape selection algorithm

基金项目:贵州省科技计划项目(编号:黔科合支撑[2021]一般 169);遵义市科技重大专项(编号:遵市科合支撑 NS [2020]25 号)

作者简介:甘密,女,贵州省机电研究设计院工程师,硕士。

通信作者:李志强(1964—),男,贵州省机电研究设计院高级工程师,学士。E-mail:513907161@qq.com

收稿日期:2022-05-11 **改回日期:**2022-12-19

茶叶分选是一道费时费工又非常关键的工序,也是提升茶叶品质和价值的关键。无论哪一种茶叶都需经过分选,经分选将茶叶按品质分级,使茶产品条索整齐、颜色美观。经过分选可以将机采茶中各类杂质剔除,提升茶叶品质和附加价值^[1]。

多年来,日本的茶叶分选技术居世界前列。1935 年日本便开始研究茶叶分选技术,1962 年已研制出电子色选分级机,为后期茶叶分选技术发展奠定了基础^[2]。中国茶叶分选技术起始于 20 世纪 60 年代。1966 年杭州茶叶厂研制出了第 1 台茶叶静电拣梗机,20 世纪 80 年代,针对茶叶和茶梗色彩差异,浙江工学院研制出电脑茶叶拣梗机,该设备通过光电探头和数据处理器识别颜色,控制电磁弹板将茶叶和茶梗分开,实现茶叶分级目标^[3-4]。至 20 世纪末,日本服部公司 2000 年研制出单色 CCD 照相式茶叶色选机,茶叶选净率和误拣率均有大幅提高^[5]。21 世纪,茶叶分选技术进入计算机智能识别分选阶段,图像处理技术、小型计算机技术在茶叶分选应用越来越广泛,机器分选越发接近人类手工作业所达到的效果,工作效率提高数倍^[6]。

目前,国内外茶叶分选主要有风选、筛选、重力选和色选等设备,这些设备可有效剔除茶叶中的杂质如黄叶、茶梗等,也可根据茶叶颜色进行分级^[7-8],但均为大型设备,价格高、体积大、耗电大,只适用于大、中型茶叶加工企业,对于贵州多数分散、产量小的小型茶叶加工企业不适用。此外,这类设备也存在功能单一,难以实现实时控制等问题,影响了茶叶分选的稳定性和可靠性。

研究拟设计一款集风选、筛选、色选为一体的小型化、多功能、低价格的高效智能分选控制系统,利用图像处理技术,融合色选算法和形选算法,以期有效剔除茶叶中的茶梗、黄叶、碎茶及非茶物质等杂质,提升茶叶品质和价值。

1 茶叶智能分选设备总体结构及原理

1.1 总体结构

小型茶叶智能分选设备是集风选、筛选、色选为一体

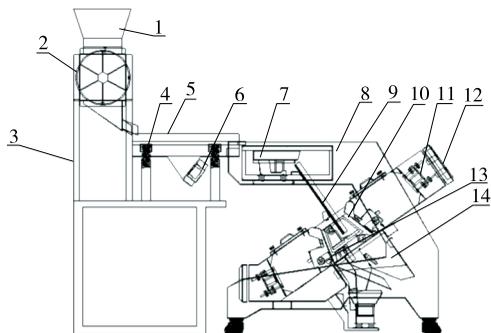
的多功能、智能化设备,主要由风选模块、筛选模块、色选模块、拣选模块等组成,结构如图 1 所示。

风选模块主要由下料斗、进料振动器、风机、风箱组成,风箱设有一个进料口,经振动器与下料斗相连,两个出料口分别位于风箱底部、后侧,风机安装于风箱前侧;利用茶叶空气动力学特征,根据茶叶和杂质的重力、体积、形状特征,剔除杂草叶、头发丝等杂质;筛选模块设有电机、不锈钢筛孔板和箱体等,不锈钢筛孔板将箱体分为上下两层,利用与水平呈一定角度安装在轴两端的重锤将电机的旋转运动转变为水平、垂直往复运动,并传递给筛面,通过筛孔剔除碎茶、细小茶梗等杂质;色选模块主要由色选进料振动器、瀑布式滑槽板、背景板、LED 面光源、工业 CCD 线阵相机、信号处理系统、清扫系统等组成,其中背景板、LED 面光源和工业 CCD 线阵相机在空间上呈立体直线布置,与瀑布式滑槽平面垂直,两者之间有一空间交汇区,即数据采集区。

拣选模块由优质品出料口、次品出料口、废品出料口、高速电磁阀、空气压缩机及相关组件等组成,其中高速电磁阀每个喷气口对应连接一个喷气阀构成一路色选通道,每个高速电磁阀含 16 个喷气口形成 16 路色选通道。拣选模块设计 32 路色选通道,需 32 个喷气阀,每个喷气阀口径为 2~3 mm,并沿瀑布式滑槽呈线阵排列于拣选区。

1.2 工作原理

茶叶分选时,将成品茶叶放入下料斗中,通过茶叶调节板控制茶叶的进料量,茶叶经过进料振动器均匀不重叠地进入风选模块中,调节风量吹动茶叶,根据茶叶和杂质的重量、体积不同,使优质的茶叶从风选底部出料口流出,经导向机构从右侧落入筛选模块中,杂质则从后侧出料口滑落;茶叶进入筛选模块后,调节电机的振动频率和振幅,使茶叶碎末和细小的茶梗等杂质通过筛孔从筛选侧面出料口落下;随后优质茶叶进入色选模块,调节背景



1. 下料斗 2. 风选模块 3. 机架 4. 弹簧 5. 筛选模块 6. 筛选电机 7. 色选振动器 8. 色选模块 9. 瀑布式滑槽板 10. LED 面光源 11. 工业 CCD 线阵相机 12. 人机界面 13. 高速电磁阀 14. 拣选模块

图 1 茶叶智能分选设备结构图

Figure 1 Structure diagram of intelligent tea sorting equipment

板颜色和 LED 光源照射度,茶叶通过色选进料振动和瀑布式滑槽自动排列成一系列连续的线状细束向下滑落,从工业线阵 CCD 相机和背景板之间落下,均匀不重叠地以恒定的速度经过数据采集区,由工业彩色 CCD 线阵相机进行数据采集并将数据稍作处理后传输给信号处理系统,信号处理系统利用智能分选算法根据茶叶和杂质的颜色特征、形状特征差异进行图像识别,并将识别结果上传至主控制器;最后,主控制器根据识别结果向微处理器发出指令,驱动与已识别杂质所在色选通道对应的高速电磁阀喷气口喷出高压空气吹动杂质,使杂质偏离茶叶的运动轨迹,进入不同的出料口,实现茶叶和杂质的高效分选。

2 茶叶智能分选控制系统硬件设计

2.1 控制结构

茶叶智能分选控制系统采用分布式控制,其结构主要由主控制器、微处理器、图像采集及信号处理系统和显示器(触控)组成,结构如图 2 所示。主控制器通过串口与微处理器通讯,控制恒流源驱动电路调节 LED 光照强度,控制振动驱动电路调节两个进料振动器频率,控制步进电机驱动电路选择背景板颜色,控制继电器电路驱动定时清扫机架等;此外,主控制器最主要的工作是实时动态图像数据的采集、处理、识别,并实时驱动拣选模块的高速喷气阀动作,实现茶叶的等级分选。

2.2 硬件设计

图像采集及信号处理系统包括工业彩色 CCD 线阵相机、高速电磁阀及驱动电路,其中工业彩色 CCD 线阵相机型号是安徽科亿 KEY-LCC2048GE9K-C+50mm,高速电磁阀型号为合肥旭伟 XW-E₁16,该电磁阀可控制 16 个喷气口,频率可达 12 000~15 000 次/min。技术性参数详见表 1。

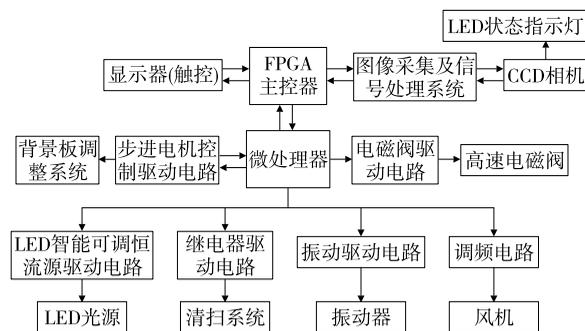


图 2 控制系统结构图

Figure 2 Structure chart of control system

表 1 相机技术性参数

Table 1 Technical performance of camera

传感器类型	分辨率	像素尺寸/ μm	像素速率/度/MHz	线速率/kHz	颜色深度/bit
RGB CCD	2 048×3	14×14	20	9	8

3.1 色选算法

采用 HSV 彩色空间作为色选算法的色彩基础空间, 将经过自适应滤波预处理的 RGB 原始图像数据从 RGB 颜色空间转化为 HSV 颜色空间, 形成 HSV 彩色图像, 转换公式为:

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{G-B}{[V-\text{Min}]}, & \text{if } V=R \\ 60 \times \frac{B-R}{[V-\text{Min}]} + 120, & \text{if } V=G \\ 60 \times \frac{R-G}{[V-\text{Min}]} + 240, & \text{if } V=B \end{cases}, \quad (1)$$

$$\text{Min} = \text{Min}(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{(V-\text{Min})}{V}, & \text{if } V \neq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

$$V = \text{Max}(R, G, B), \quad (3)$$

式中:

H——色度;

S——饱和度;

V——亮度。

3.2 形选算法

茶叶形状是衡量茶叶品质的一个重要因素^[9], 好的品质要求茶叶条索完整、形色美观。茶叶的形状特征较多, 选取矩形体、圆形体和半径比等形状特征进行识别。

3.2.1 矩形体 按式(4)计算矩形体, 其越接近 1, 外形轮廓越接近矩形。

$$R = \frac{A_0}{A}, \quad (4)$$

式中:

R——矩形体;

A₀——轮廓区域面积, m²;

A——轮廓区域最小外接矩形面积, m²。

3.2.2 圆形体 按式(5)计算圆形体, 其越接近 1, 外形轮廓越近似圆形。

$$S = \frac{4\pi \times A}{P^2}, \quad (5)$$

式中:

S——圆形体;

A——轮廓面积, m²;

P——轮廓周长, m。

3.2.3 半径比

$$D = \frac{R_i}{R_c}, \quad (6)$$

式中:

D——半径比;

R_i——轮廓内切圆半径, m;

R_c——轮廓外接圆半径, m。

4 测试与分析

4.1 智能分选算法测试

通过市场调研, 机采成品茶中茶梗、黄叶等杂质含有量约 20%~30%, 为了验证分选算法的茶叶识别率, 以片状、卷曲状、颗粒状机采茶各 200 样本(含杂率 25%)分别测试分选算法的茶叶识别率、茶梗误判率、黄叶误判率。设置绿色为背景颜色, 光源色温为 5 500~6 000 Kelvin, 光照强度约 4 540 lux^[10], 色选进料振动频率分别为 30, 32, 34 Hz, 按照图 5 的逻辑框架对茶叶样本进行识别, 每组试验反复 3 次, 取平均值, 得分选算法实际计算数据如表 2 所示。

表 2 分选算法测试计算数据表

Table 2 Sorting algorithm test calculation data sheet

样品形状	进料振 频/Hz	茶叶识别 率/%	茶梗误判 率/%	黄叶误判 率/%
卷曲状	30	87.5	6.1	6.4
	32	86.4	6.5	7.1
	34	84.2	5.9	9.9
颗粒状	30	94.3	1.9	3.8
	32	93.6	2.3	4.1
	34	92.7	2.7	4.6
片状	30	90.5	5.9	3.7
	32	89.6	6.3	4.1
	34	88.3	7.1	4.6

由表 2 可知, 色选进料振动频率为 30 Hz 时, 3 种茶叶的识别效果最好, 茶叶识别率较高, 茶梗、黄叶误判率较低。针对不同的色选进料振动频率, 卷曲状茶叶平均识别率为 86.03%, 颗粒状茶叶平均识别率为 93.53%, 片状茶叶平均识别率为 89.46%, 较好地实现了不同品种茶叶的等级分选。

4.2 控制系统性能测试

为了验证小型茶叶智能分选设备的性能, 设置进料振动频率为 53~58 Hz, 风机速度为 2.6 m/s^[11-12](大于 2.6 m/s, 茶叶吹走较多; 小于 2.6 m/s, 杂质吹走较少), 色选进料振动频率为 30 Hz, 分别对卷曲状、颗粒状、片状机采茶(含杂率 25%)进行现场测试, 每组试验反复进行 3 次。试验过程中以电子秤、电子秒表、电子天平为测试工具, 得智能分选控制系统的性能参数如表 3 所示。

由表 3 可知, 卷曲状机采茶产量为 46.4 kg/h, 拣选率约 97.4%, 带出比约 5.2 : 1; 颗粒状机采茶产量为 46.2 kg/h, 拣选率约 97.2%, 带出比约 5.4 : 1; 片状机采茶产量为 44.9 kg/h, 拣选率约 96.3%, 带出比约 5.6 : 1, 均可分选出 2~3 个等级的茶叶。智能分选控制系统能有效剔除颗粒状机采茶中的茶梗等杂质, 茶叶识别率在 90% 以上, 实现了茶叶和杂质的高效分选。

表 3 控制系统技术参数表

Table 3 Control system technical parameter table

序号	进料振频/Hz	风机速度/($m \cdot s^{-1}$)	色选进料/Hz	产量/($kg \cdot h^{-1}$)	拣选率/%	带出比
卷曲状	53	2.6	30	43.1	98.1	5.0 : 1
	55	2.6	30	45.7	97.6	5.1 : 1
	57	2.6	30	50.5	96.4	5.4 : 1
颗粒状	53	2.6	30	42.1	98.6	5.2 : 1
	55	2.6	30	45.3	97.9	5.3 : 1
	57	2.6	30	51.2	95.1	5.8 : 1
片状	53	2.6	30	40.1	98.3	5.3 : 1
	55	2.6	30	43.9	96.8	5.7 : 1
	57	2.6	30	50.8	93.7	5.9 : 1

5 结论

通过图像识别技术、高速电磁阀,根据茶叶和杂质的重力、体积、颜色及形状特征,将茶叶和杂质自动分离,有效提高了茶叶分选效率。以贵州卷曲状、颗粒状、片状机采茶为对象,对控制系统性能进行迭代试验,结果表明:控制系统对3种机采茶的平均识别率分别为86.03%,93.53%,89.46%,产量平均为45.8 kg/h,拣选率约97.0%,带出比约5.4 : 1。后期将通过研究不断完善茶叶智能分选设备,并以此为基点研发名优茶和茶青的智能分选控制技术。

参考文献

- [1] 计时鸣,王烈鑫,熊四昌,等.茶叶分选过程中的自动化设备[J].农机与食品机械,1996(2):23-24.
JI S M, WANG L X, XIONG S C, et al. Automatic equipment in tea sorting process [J]. Agricultural and Food Machinery, 1996 (2): 23-24.
- [2] 张皓臻,肖宏儒,梅松,等.茶叶分选技术的现状和未来[J].农业工程,2014,4(5):59-63.
ZHANG H Z, XIAO H R, MEI S, et al. Status quo and future of tea sorting technology[J]. Agricultural Engineering, 2014, 4(5): 59-63.
- [3] 高达睿.基于颜色和形状特征的茶叶分选研究[D].合肥:中国科学技术大学,2016:2-4.
GAO D R. Research on the tea sorting based on characteristic of color and shape[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2016: 2-4.
- [4] 刘希.基于彩色线阵 CCD 的茶叶分选控制系统设计[D].南京:南京林业大学,2014:3-5.
LIU X. The design of tea sorter control system based on color linear CCD[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014: 3-5.
- [5] 高震宇,王安,刘勇,等.基于卷积神经网络的鲜茶叶智能分选系统研究[J].农业机械学报,2017,48(7):53-58.
GAO Z Y, WANG A, LIU Y, et al. Intelligent fresh-tea-leaves sorting system research based on convolution neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,

2017, 48(7): 53-58.

- [6] 李灏.茶叶色选机智能控制系统研究[D].南京:南京林业大学,2012:1-5.
LI H. Research on tea color sorter intelligent control system[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012: 1-5.
- [7] 李明珠,倪超,张晓,等.基于彩色线阵 CCD 的茶叶分选识别算法研究[J].中国农机化学报,2015,36(4):124-129.
LI M Z, NI C, ZHANG X, et al. Research on sorting algorithm of tea based on color linear CCD[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(4): 124-129.
- [8] 裴刚,黄俊仕,艾施荣,等.基于 STM32 茶叶红外杀青机温湿度模糊控制系统设计[J].现代电子技术,2020,43(19):79-83.
PEI G, HUANG J S, AI S R, et al. Design of STM32-based temperature-humidity fuzzy control system for tea infrared water-removing machine[J]. Modern Electronic Technology, 2020, 43 (19): 79-83.
- [9] 虞文俊,熊爱华,刘仲寿,等.基于 LabVIEW 和 Arduino 的茶叶红外茶青机控制系统设计[J].食品与机械,2018,34(11):110-114.
YU W J, XIONG A H, LIU Z T, et al. Design of control system for cylinder of tea green-removing machine using infrared source based on LabVIEW and Arduino[J]. Food & Machinery, 2018, 34 (11): 110-114.
- [10] 汪飞,李志强,甘密,等.光源对茶叶色选的影响研究[J].贵州科学,2018,36(3):68-72.
WANG F, LI Z Q, GAN M, et al. Influence of light sources on color sorting of tea leaves[J]. Guizhou Science, 2018, 36(3): 68-72.
- [11] 丰会萍,胡亚兰,闫琛钰,等.基于 TIA Portal 的多功能茶叶包装机控制系统设计[J].食品与机械,2017,33(7):85-88.
FENG H P, HU Y L, YAN C Y, et al. Design of control system for multi-functional tea packaging machine based on TIA Portal[J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 85-88.
- [12] 夏先春,李志强,杨洪涛,等.一种小型多功能茶叶分选设备的结构设计[J].现代机械,2019(3):64-67.
XIA X C, LI Z Q, YANG H T, et al. The structure design of a small multifunctional tea sorting equipment[J]. Modern Machinery, 2019(3): 64-67.