

基于电磁式同步执行机构的鲜枣分级机设计与试验

康宁波¹, 强 锋², 吴龙国¹, 王松磊^{1,2}, 何建国^{1,2*}

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要: 为了提高鲜枣机器视觉分级机的分级精度和速度, 该文研究设计基于电磁式同步执行机构的鲜枣机器视觉分级机, 整机由辊轮输送链、拨板链条、电磁铁、同步传动链轮、STM32F407 图像处理器和 STM32F103 控制动作执行的协处理器等组成。执行机构单元拨板与辊轮输送同步, 采用灵敏度高的电磁铁吸附硅钢开关扣板执行动作。图像处理流程为图像颜色分量、Sobel 算子滤波、大津法二值化、椭圆拟合提取颜色和大小特征值。样机试验结果: 拨板链同步位差为 0.413 mm, 单元拨板击撞力为 2.57 N, 红枣表皮瞬间承受最大力为 12.69 N; 每帧图像处理时间为 50 ms, 执行机构动作时间为 40 ms, 辊轮输送速度为 320 mm/s, 红枣分级速度达 20 个/s, 实现鲜枣 5 个大小等级和 1 个绿色等级的分级, 分级准确率为 93.7%, 无损率为 100%, 最大产能达 1 400 kg/h。设计的基于电磁式同步执行机构的鲜枣机器视觉分级机实现了鲜枣的高准确率、高速度、无损分级要求, 为机器视觉红枣快速分级设备的发展提供重要的技术支撑和理论参考。

关键词: 机器视觉; 图像处理; 设计; 电磁执行机构; 鲜枣; 分级机

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.033

中图分类号: S24; S226.9; S665.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-07-0254-07

康宁波, 强 锋, 吴龙国, 王松磊, 何建国. 基于电磁式同步执行机构的鲜枣分级机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 254—260. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.033 http://www.tcsae.org

Kang Ningbo, Qiang Feng, Wu Longguo, Wang Songlei, He Jianguo. Design and experiment of synchronization actuator system based on electromagnetism for fresh jujube classifier[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 254—260. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.033 http://www.tcsae.org

0 引 言

利用机器视觉技术能够实现对果品外部品质的无损检测, 快速、准确的分级, 而提高果品自动化分级机分级精度和分级速度是果品机器视觉分级技术的主要趋势和发展方向^[1-5]。果品分级执行方法和图像处理速度是影响机器视觉自动分级设备发展的关键因素, 其分级精度与速度的时效性相匹配, 而且最大限度的保证果品的零损伤^[6-10]。

目前国内外根据果品质量、尺寸特点、输送方式等特点, 设计研制的分级执行机构有重量分级卸料机构、杠杆式卸料机构、推挽式机构和气动式分级机构^[4-15]。重量分级卸料机构主体是由电子称重系统控制的平衡杠杆机构组成, 适合个体质量较大的果品分级, 广泛应用于苹果、柑橘、柚子等水果的分级, 分级速度快, 但机构复杂, 动态称重参数信号抖动影响分级精度^[16]。美国 Tao 教授团队研制了 Merling 高速高频机器视觉水果分级系

统, 研究了包括频谱增强、彩色图像分析、噪声过滤与变换技术, 该机生产率为 44 t/h, 可用于苹果、桔子、桃子等果品分级^[17]。应义斌团队基于机器视觉技术对黄花梨果面的缺陷进行检测, 确定图像处理窗口, 利用 Sobel 算子提取图像的边缘信息, 然后利用 Hilditch 法对边缘进行细化处理, 并提出利用 R 分量与 G 分量求受损区域面积^[18]。东南大学研制的一种杠杆式卸料机构, 可直接安装在水果自动分选机的滚子式水果输送装置上, 输送过程不影响水果的输送和翻转, 输送速度为 616 mm/s, 可实现大型果品的快速分级^[19]。石河子大学设计的干枣机器视觉自动分级机装置, 输送速度为 150 mm/s, 采用气喷式分级方式, 单通道分级速度是 4 个/s^[20]。宁夏大学研制的红枣机器视觉自动分级机采用气动分级执行机构, 输送速度为 160 mm/s, 单通道分级速度 5 个/s, 分级效果良好, 实现了小型果品的无损分级。国内外针对大型果品的分级方法和分级执行技术比较成熟, 但小型果品如红枣、金桔、小番茄等由于尺寸小、质量轻、易破损等特点不适用现有成熟的杠杆式和质量式分级方法进行精准分级。目前采用气喷式分级方式实现了鲜枣的无损、准确分级, 但分级速度受限于控制气喷动作的电磁阀触发执行机构的动作速度, 分级速度提高空间较小^[20-23]。因此本文在前期鲜枣分级机研究的基础上设计一种基于电磁式同步执行分级系统, 其电磁铁直接触发执行机构, 动作速度远高于电磁阀控制气喷的执行速度, 研制的鲜枣分级机以期达到高速、准确、无损分级效果。

收稿日期: 2016-09-28 修订日期: 2017-03-27

基金项目: 农业科技成果转化项目(2014G30000045); 国家自然科学基金资助项目(31560481); 国家科技支撑计划资助项目(2012BAF07B06)

作者简介: 康宁波, 男(汉族), 宁夏人, 博士生, 主要从事农产品无损检测, 节水灌溉方面研究。银川 宁夏大学土木与水利工程学院, 750021。

Email: 109438847@qq.com

*通信作者: 何建国, 男(回族), 山东人, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品无损检测和食品物性学方面的研究。银川 宁夏大学土木与水利工程学院, 750021。Email: hejg@nxu.edu.cn

1 总体设计方案

1.1 技术要求

本文主要针对鲜枣进行分级，试验选用宁夏灵武玛枣，横径 15~35 mm，长径 25~60 mm，个体质量范围 15~40 g。玛枣呈椭圆形，大小、颜色和质量差异明显，要求分级机的执行机构和图像处理系统能够满足不同大小和颜色的红枣准确检测和分级。鲜食玛枣皮薄易受损伤，通过质构仪测定果皮强度为 3.7 kg/cm²，要求执行机构的分级动作不能对红枣造成损伤。如表 1，根据宁夏灵武鲜食玛枣等级标准按大小和绿色指标分为 6 个等级，大小等级为 1~5 等，等级越高枣尺寸越大，枣色的绿色区域面积占 75%以上的为绿枣等级。

表 1 宁夏鲜食玛枣等级标准

Table 1 Grade standard of fresh jujube of Ningxia

标准等级 Standard grade	等级 Grade	纵径范围 Longitudinal diameter range/mm	横径范围 Transverse diameter range/mm
1 级 Grade 1	一星枣 One-star	0~30	15~18
2 级 Grade 2	二星枣 Two-star	30~35	19~22
3 级 Grade 3	三星枣 Three-star	36~42	23~26
4 级 Grade 4	四星枣 Four-star	43~50	27~32
5 级 Grade 5	五星枣 Five-star	≥51	≥33

绿枣 Green jujube 绿色区域面积≥75%

本文采用已研究的辊轮链条输送上料，其机构能够实现红枣的个体横向排布，而图像处理系统需要在辊轮链条快速输送的状态下采集信息，实现分级速度要高于已有的气动式执行机构分级机的 10 个/s 的分级速度。

1.2 系统结构与工作原理

根据技术要求本文研究设计了电磁式同步执行机构的红枣分级机，主要结构包括执行机构和图像处理系统。其中执行结构由拨板链条、电磁铁、同步传动链条组成，图像处理系统由 STM32F407 图像处理器、STM32F103 协处理器和沪工 LJ12A3-4-Z/BX 三线 NPN 传感器组成，如图 1 所示。整机的工序区域包括上料区、拍照区、分级区，工作原理是红枣通过辊轮链条实现个体排布输送，通过拍照区由 STM32F407 图像处理器拍照采集信息，带等级信息的红枣通过分级区时，协处理系统接收到传感信息，触发电磁铁瞬间吸附执行机构的单元拨板的扣板，拨板弹出完成分级动作。同步循环的拨板链条的每个拨板与辊轮上红枣同步，实现精准定位分级。

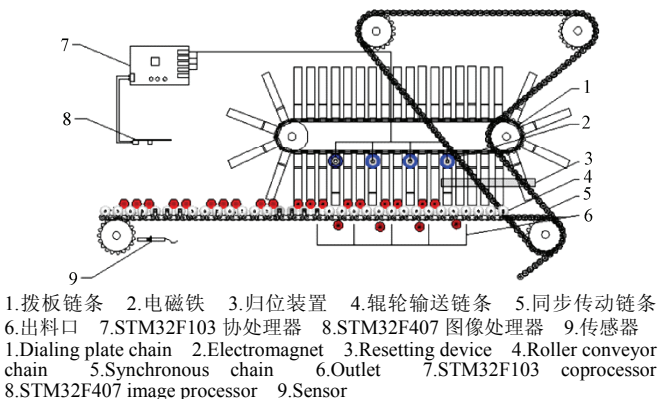


图 1 电磁式分级执行机构示意图

Fig.1 Diagram of electromagnetic grading actuator

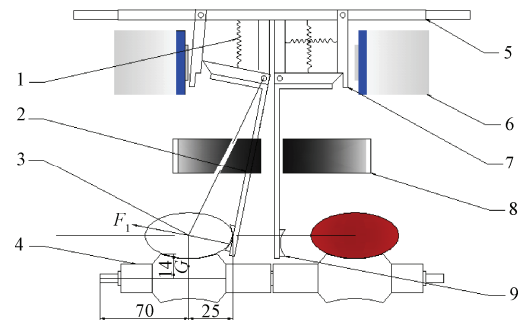
2 关键部件原理与分析

2.1 执行机构的设计

同步拨板链条分级执行机构，如图 1 中包括不锈钢链条、拨板单元、电磁铁、拨板复位装置、传动轮和传动链条。拨板链条和辊轮输送链条一样，由 2 条 304 材质的不锈钢链条构成，链节距为 15.875 mm，链节侧板中间用轴安装拨板单元形成循环拨板链，置于辊轮输送链的上方，通过传动链条链接辊轮输送链传动轮和拨板链传动轮同步转动。当带有等级信息的红枣输送到出料口时，协处理器触发料口位置的电磁铁，瞬间产生磁力吸附拨板单元的开关扣板，由弹性连接的拨板弹出，拨落红枣到出料口中。执行分级后电磁铁瞬间释放磁力以待执行后面分级动作，同时弹出的拨板转动到前方，由归位装置进行拨板归位，扣板开关扣住拨板，拨板单元完成一次分级。

2.1.1 拨板单元机构设计和红枣受力分析

根据电磁式分级执行机构的原理及动作完成要求，分级装置的单元拨板位置与辊轮上个体红枣位置一一对应，分级动作通过电磁铁吸附拨板单元，拨板弹出完成分级动作。红枣高速输送过程中，要求拨板动作快速和准确。设计拨板为 L 型的杠杆结构，拨板底板采用弹性连接，扣板扣住底板蓄势待拨，触发磁力瞬间吸附扣板开关，拨板脱扣弹出瞬时拨落红枣。带等级信息的红枣在高速输送到出料口，同步的分级装置拨板弹出拨落红枣，红枣拨出的速度不影响辊轮链条输送速度，但拨出距离至少大于辊轮链条的边侧宽度。作为鲜红枣的分级机构要考虑拨板对红枣的撞击力度小于鲜枣的破损硬度，保证红枣的无损分级。红枣输送方式采用已试验成功的链式辊轮输送，辊轮的尺寸已经确定，如图 2。拨板单元主要根据辊轮尺寸、辊轮间距及红枣尺寸设计。正常枣果长径为 25~60 mm，横径为 15~35 mm，两端横径为 5~20 mm。两辊轮间距 32 mm，拨板宽度要小于辊轮间距，大于两端横径，设计为 21 mm。设计拨板长度为 100 mm，底板长度为 36 mm。



1. 弹簧 2. 拨板 3. 红枣 4. 辊轮 5. 底板 6. 电磁铁 7. 扣板开关 8. 归位装置 9. 缓冲垫

1. Spring 2. Dialing plate 3. Jujube 4. Roller 5. Baseboard 6. Electromagnet 7. Plate switch 8. Replace device 9. Cushion

注： F_1 为拨板击撞力，N； N 为红枣重力，N。

Note: F_1 for dialing plate striking force, N; G for jujube gravity, N.

图 2 拨板单元结构示意图及红枣的受力分析

Fig.2 Diagram of dialing plate unit and force analysis of jujubes

试验拨落质量 $m=40\text{ g}$ 的红枣在掉落高度为 $h=14\text{ mm}$ 时间内, 位移 $S_b=120\text{ mm}$, 通过动能关系得出作用在红枣上的力, 受力分析如图 2。根据尺寸限位关系, 拨板击撞力对红枣作用的位移为 $S_c=25\text{ mm}$ 。

$$h=1/2gt^2 \quad (1)$$

$$S_b=vt \quad (2)$$

$$F_1S_c=1/2mv^2 \quad (3)$$

式中 g 为重力加速度 m/s^2 , t 为下落时间 s , v 为位移初速度 m/s , F_1 为拨板击撞力 N , S_c 为击撞力对红枣作用位移 m 。

根据式 (3) 得出拨板击撞力 $F_1=2.57\text{ N}$, 而红枣的果皮强度为 3.7 kg/cm^2 , 拨板击撞红枣的接触有效面积为 0.35 cm^2 , 瞬间能够承受的最大力为 $F=12.69\text{ N}$, 拨板对红枣的击撞力度远小于红枣果皮强度。考虑到红枣击撞面受力不均匀, 在拨板击撞面贴弹性的缓冲垫, 因此在满足拨板击撞力度时, 保证分级装置的无损分级。

2.1.2 扣板开关的磁力强度和磁滞性质分析

电磁铁的磁力是分级装置的执行动力, 安装在分级装置的两侧, 每个分级料斗对应一个电磁铁。电磁铁的磁力吸附面与拨板单元的扣板面相对, 安装距离在磁力的有效范围内。分级拨板与输送辊轮以 320 mm/s 速度同步移动, 等级信号触发电磁铁产生磁场吸附扣板, 拨板脱扣弹出完成分级动作。扣板为磁性材料, 在变化磁场中扣板会不断被磁化和退磁, 最终使得材质自身剩有一定磁力, 称为该材料的最大剩磁。其磁性会影响到分级动作的准确性和装置稳定性, 通过研究磁滞回线和计算出扣板所选材质的最大剩磁 B_r 范围^[24]。上述已设计的整个拨板单元的宽度 21 mm , 辊轮输送的设计速度为 320 mm/s , 拨板脱扣位移 $S_k=3\text{ mm}$ 。在设计的速度下, 拨板单元的扣板通过电磁铁磁力面的时间为 $t=21/320=0.065\text{ s}$, 根据式 (4)、(5) 在此时间内, 通过吸附扣板脱扣的最小磁性吸力 F_{\min} 可确定选定扣板材质最大的剩磁 B_r 。

扣板质量为 30 g , 尺寸几何对称, 重心处于几何中心, 扣板小角度的偏转等效为重心的平移, 其位移量是脱扣位移的一半。

$$F_{\min}=m_k a_k + F_f \quad (4)$$

$$1/2S_k=1/2a_k t^2 \quad (5)$$

式中 m_k 为拨板质量 kg , a_k 为拨板弹出加速度 m/s^2 , F_f 为扣板弹簧拉力, 通过拉力计测得为 3.1 N 。

计算得: $F_{\min}=3.122\text{ N}$

扣板材质的最大剩磁磁性吸力 $F_r(\text{N})$ 应小于

$$F_r \leq F_{\min} \quad (6)$$

$$F_r = \frac{B_r^2 A}{2\mu_0} \quad (7)$$

式中 μ_0 为真空磁导率 $4\pi \times 10^{-7}\text{ H/m}$, B_r 为最大剩磁, T ; A 为电磁铁吸附扣板的面积, 计算得 315 mm^2 。

根据式 (6)、(7) 得: $B_r < 0.5\text{ T}$

扣板的磁性材质可选择剩磁强度小于 0.5 T 软磁材料。通过分析硅钢的磁滞性质, 当磁通密度为 1.5 T 时,

硅钢的最大剩磁为 0.3 T ^[25]。本研究选择硅钢材料制作扣板开关。

2.1.3 同步关系分析

辊轮链条与拨板链条同步是该分级装置实现高速准确分级的关键。根据分级装置的设计原理, 拨板单元与辊轮凹槽位置一一对应, 同步高速移动时, 带等级信息的红枣移动到相应的等级料斗口处, 拨板弹出拨落红枣完成分级。在同步运转的速度下, 分级速度不受拨板单元的执行动作速度的限制, 关键取决于电磁铁磁力激发的速度。由此, 同步的准确性决定了分级的准确性, 本研究采用链传动。

辊轮链条的传动轮作为主动轮, 分级装置链条的传动齿轮为从动轮, 上面是 2 个是活动轮。为了减弱滚子链条的多边形效应, 主从动轮、活动轮设计为相同规格的齿轮。所用传动齿轮齿数为 19, 平均传动比为 1。在传动相位不一致的情况下, 瞬间传动比会大于 1, 根据式 (8) 得出最大瞬间传动比^[26]。

$$i_{s\max} = \tan \frac{180}{Z_1} / \sin \frac{180}{Z_2} \quad (8)$$

式中 Z_1, Z_2 分别是主动轮和从动轮齿数, 当 $Z_1=Z_2=19$ 时, $i_{s\max}=1.013$ 。

辊轮中心距 $r=31.75\text{ mm}$, 与拨板链节距相同, 拨板单元同步位差 $x=(1.013-1)r=0.413\text{ mm}$, 同步位差远小于拨板相对红枣横径宽度, 拨板击撞红枣的有效着力点位置偏差很小, 保证了分级准确度。

2.2 图像处理系统

2.2.1 系统硬件设计

红枣机器视觉分级机的分级速度取决于图像处理速度和分级装置的动作执行速度, 要求图像分级系统和控制系统有机的结合^[27]。本文采用的图像分级控制系统整体分为两部分, 主处理器和协处理器, 主处理器主要实现图像的采集和处理, 协处理器负责控制执行机构完成执行动作。主处理系统的处理器采用 STM32F407 作为处理芯片, 设计电源、RS232 接口、JTAG 调试接口、串口、摄像头等外围电路, 通过外部触发后处理器控制摄像头采集图像, 采集到的图像进行获取颜色 G 分量、滤波、二值化、椭圆拟合等处理, 并将处理结果通过串口通信的方式发送给协处理器。协处理器采用 STM32F103 作为处理芯片, 控制 8 路固态继电器实现输出。STM32F407 是基 ARM Cortex-M4F 内核, 具有 1 MB 闪存, 192 kB RAM, 其主频 168 MHz, 整合了微控制器和数字信号处理器的功能与特性, 摄像头采用 30 万像素的 OV7670。STM32F103 协处理器是基于 ARMv7-M 体系结构的 32 位标准 RISC 处理器, 工作频率为 72 MHz, 内置 128 kB 字节的 Flash 存储器和 20 kB 字节的 SRAM, 以及通用的 I/O 端口。工作原理是: 接近开关传感器触发 STM32F407, 通过 SCCB 总线控制 OV7670 摄像头进行拍照, 拍照后进行图像处理, 将分级结果发送给 STM32F103 协处理器, 进而命令继电器控制电磁铁执行分级动作。该系统图像处理速度 20 帧/s, 即 50 ms/帧, 每帧图像的处理并排 2

个红枣的等级信息，触发电磁铁通断时间为 40 ms。图像处理时间与分级动作执行时间都小于本研究的分级装置的拨板单元相对电磁铁的位移时间 65 ms。

2.2.2 图像处理和提取特征值

图像处理和提取特征值目标是满足嵌入式系统快速检测的要求，实现鲜枣的颜色和大小指标的分级，图像处理流程图如图 3 所示。

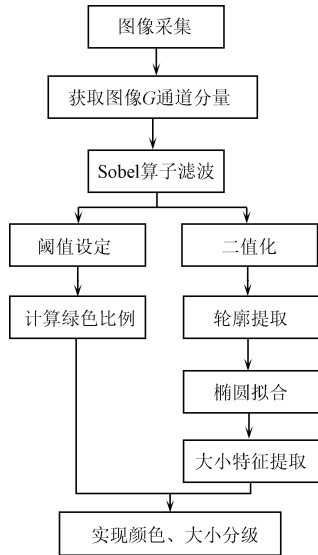


图 3 图像处理流程

Fig.3 Image processing flow

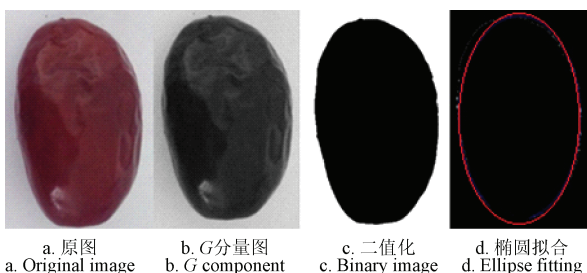
鲜枣图像经过获取颜色 G 分量、二值化、椭圆拟合的步骤进行处理，如图 4，根据拟合椭圆一般方程计算长轴和短轴值，通过像素点值与实际长度的比例标定将得到的长轴、短轴值转化成鲜枣实际的纵经和横径。

1) 图像 G 通道分量获取，根据鲜红枣、鲜绿枣 RGB 值对应的直方图分析，G 通道分量差异比较大，因此本文选取图像的 G 通道分量值作为颜色分级主要依据。

2) Sobel 算子滤波，容易在空间上实现，会产生很好的边缘检测效果，受噪音影响小，本文采取 3×3 的滤波窗口^[28]。

3) 二值化，鲜枣的表面颜色由暗红、红色和绿色掺杂，若采用固定阈值分割时，背投光源影响二值化，因此本文选择使用大津算法确定阈值，进行图像的二值化较为理想^[29]。

4) 椭圆拟合，鲜枣边缘与椭圆相似，本文采用最小二乘法对鲜枣边缘曲线进行拟合。在椭圆拟合之前，首先要对枣进行轮廓的提取，要分别逐行和逐列来扫描二值图保证轮廓的完整性^[30-31]。



a. 原图 b. G 分量图 c. 二值化 d. 椭圆拟合

图 4 红枣图像处理过程

Fig.4 Image processing of jujube

在二维坐标系中，式 (9) 为椭圆的一般方程，再根据式 (10) 进一步把椭圆表示为 2 个向量乘积的隐式方程，利用最小二乘法原理，可以通过代数距离平方和最小化来实现曲线拟合。通过求解线性方程组式 (11)，求得 (A, B, C, D, E, F) 的值可以得到拟合的椭圆方程^[23]。

$$Ax^2+Bxy+Cy^2+Dx+Ey+F=0 \quad (9)$$

$$F(e,x)=eX=Ax^2+Bxy+Cy^2+Dx+Ey+F=0 \quad (10)$$

$$F(A,B,C,D,E,F)=\sum_{i=1}^n(Ax_i^2+Bx_iy_i+Cy_i^2+Dx_i+Ey_i+F)^2 \quad (11)$$

式中 e 为 (A, B, C, D, E, F) 系数向量， $X_i=(x_i^2, x_iy_i, y_i^2, x_i, y_i, 1)$ ，根据最小二乘原理，曲线拟合可通过将代数距离平方和最小化来实现。

5) 大小形状特征提取，本文采用鲜枣的纵径和横径来综合判断鲜枣的大小，通过椭圆拟合得到了一般方程，由式 (12)、(13) 可以计算得到拟合椭圆的长轴 a 和短轴 b。

$$a=2\sqrt{-2F/A+C-\sqrt{B^2+(A-C)^2/F^2}} \quad (12)$$

$$b=2\sqrt{-2F/A+C+\sqrt{B^2+(A-C)^2/F^2}} \quad (13)$$

式中 a, b 分别是拟合椭圆的长轴和短轴，mm。

通过统计鲜枣像素点的个数，利用刻度尺长度作为参考做图像标定，得到像素与实际长度的标定比例。式 (15)、(16) 通过标定的比例将拟合椭圆的长轴和短轴转化成鲜枣的实际尺寸的纵经和横径。

$$k=l/n \quad (14)$$

$$l_a=2a/k \quad (15)$$

$$l_b=2b/k \quad (16)$$

式中 k 为标定比例，n 为像素点个数， l_a 、 l_b 分别是红枣实际纵经和横径，mm。

根据红枣等级标准，通过计算比较红枣纵经或横径对应等级的范围进行大小分级。

6) 颜色特征值提取

分别拍摄辊轮上无枣、红枣、绿枣的图像，绘制分析对应图像的 R、G、B 通道的直方图，分析发现背景部分的 G 通道像素值大于 25，鲜枣的红色区域 G 通道像素值在 3~8 之间，而绿色部分的 G 通道像素值在 13~16 之间，背景部分、红枣的红色区域和绿色区域 G 通道的像素值有明显的不同，因此选取图像的 G 通道分量值作为颜色分级主要依据。将背景区域进行分割，选择像素值 10 作为固定阈值进行二值化处理，统计白色像素点数量对小于像素值 16 的所有像素点数量的占比，当占比高于或等于 75% 时，判断为绿枣，占比低于 75% 时判断为红枣。

3 样机试验及性能分析

3.1 试验方法

红枣机器视觉自动分级机的分级区的长度为 700 mm，设计拨板链执行机构的长度为 600 mm，设有 5

个等级出料口,对应的6个电磁铁置于拨板单元扣板面的两侧,有6个等级的出料口分别置于左右两侧,辊轮输送链运行速度为320 mm/s,设计实例照片如图5。根据表1宁夏灵武鲜食玛枣等级标准,先经人工使用卡尺确定大小等级,挑选700颗无损伤全红色玛枣样品和80颗75%以上绿色区域的玛枣,其中五星枣140颗,四星枣140颗,三星枣140颗,二星枣140颗,一星枣140颗,完成分级的时间为40 s,分级速度达20个/s。从红枣自动分级机的上料区自动上料,由设备分级,确定分级准确率、无损率和生产能力,重复6次,自动分级重复结果取最低值。根据公式(17)、(18)定义自动分级的分级准确率和无损率。

$$\text{分级准确率} = \frac{\text{人工分级等级一致数}}{\text{分级总数}} \times 100\% \quad (17)$$

$$\text{无损率} = \frac{\text{分级机分级无损伤数}}{\text{分级总数}} \times 100\% \quad (18)$$

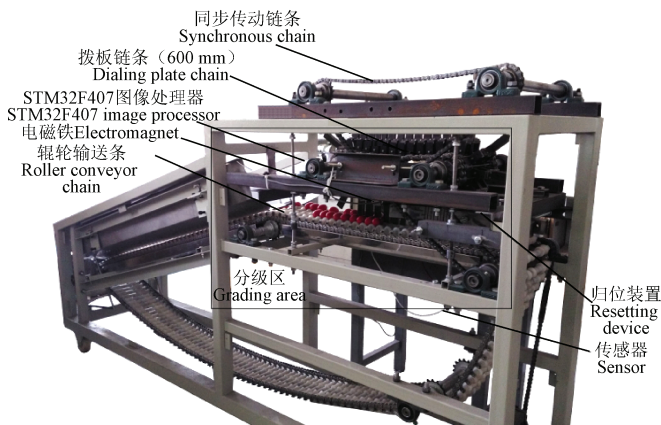


图5 红枣机器视觉电磁式高速分级系统实物图

Fig.5 Physical map of high-speed electromagnetic grading actuator system with machine vision for jujube

3.2 结果及分析

如表2,自动分级机分级试验中,经统计最少656颗红枣等级和人工等级一致,75颗绿色枣被选出。自动分级机大小和颜色分级准确率为93.7%。枣果按操作规程多次试验,分级过程中无损伤发生,无损率为100%。按照20个/s的最大分级速度,鲜枣的平均质量20 g计算,此试验设计的红枣机器视觉电磁式分级设备的最大生产能力约为1400 kg/h。

在试验过程中影响分级准确率的因素主要包括三方面。1) 图像信息处理误判,红枣通过辊轮自动上料时,小概率出现了2个小枣挤在一个辊轮凹面中,图像采集后误判为大枣导致分级错误,可以通过限制上料流量避免拥堆来解决重枣上料。2) 拨板未完全弹出,执行动作的拨板由拉簧连接蓄势,由扣板开关扣住待发,其中一个拨板拉簧弹性系数不达要求,导致弹出力度不足,未能将红枣拨落到料斗处,在输送过程中误入到其他料口中,可以通过机械结构的标准化可以避免拨板性能差异化的问题。3) 绿色枣的中红枣区域正好是图像采集面,

算法上计算的绿色面积小于75%,所以导致误判,将绿枣归类到红枣等级。总体效果分析表明,该分级系统性能稳定,分级准确率高,生产能力高,达到预期设计的高速、无损、准确分级目的。

表2 自动分级机与人工分级试验结果对比

Table 2 Comparison of automatic classifier and manual grading test results

等级 Grade	按标准等级 人工分级颗数 Artificial classification number by standard grade	分级机分级 与人工一致颗数 Number of automatic classification and manual classification consistency
一星枣 One-star	140	121
二星枣 Two-star	140	127
三星枣 Three-star	140	135
四星枣 Four-star	140	139
五星枣 Five-star	140	134
绿枣 Green jujube	80	75
无损伤枣 Nondestructive jujube	780	780
总计 Total	780	780

4 结论

1) 本文试验设计的基于电磁式同步执行机构的红枣分级机,试验结果为拨板链同步位差为0.413 mm,单元拨板击撞力为2.57 N,小于红枣表皮瞬间承受最大力12.69 N,图像处理速度为50 ms/帧,执行机构动作反应时间为40 ms,辊轮输送速度为320 mm/s,红枣分级速度达20个/s,实现鲜枣5个大小等级和1个绿色等级的分级,分级准确率为93.7%,无损率为100%,最大生产力达1400 kg/h。

2) 电磁式同步执行机构瞬间触发,动作反应灵敏,提高了分级速度。拨板弹出击撞红枣的力度小于红枣果皮强度,达到了快速、无损、准确分级的目的。但拨板单元结构相对复杂,降低了稳定性,需要进一步研究优化设计。图像处理方法和特征值提取算法适合STM32F407主处理器和STM32F103协处理器的嵌入式系统,实现快速图像处理 and 检测的目的。由于红枣种植区域和采收时间不同,鲜枣的个体差异和颜色区别比较大,图像处理信息量大和复杂,因此图像处理系统对重叠枣的识别和颜色精度需要提高,今后需进一步研究细化算法。

[参考文献]

- [1] 周竹,黄懿,李小昱,等.基于机器视觉的马铃薯自动分级方法[J].农业工程学报,2012,28(7):178-183.
Zhou Zhu, Huang Yi, Li Xiaoyu, et al. Automatic detecting and grading method of potatoes based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 178-183. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张海辉,陈克涛,苏东,等.基于特征光谱的苹果霉心病无损检测设备设计[J].农业工程学报,2016,32(18):255-262.
Zhang Haihui, Chen Ketao, Su Dong, et al. Design of nondestructive detection device for moldy core in apples based on characteristic spectrum[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of

- the CSAE), 2016, 32(18): 255—262. (in Chinese with English abstract)
- [3] Anderson Rocha, Daniel C Hauaggeb, Jacques Wainera, et al. Automatic fruit and vegetable classification from images[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 70(1): 96—104.
- [4] 孔彦龙, 高晓阳, 李红玲, 等. 基于机器视觉的马铃薯质量和形状分选方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 143—148.
Kong Yanlong, Gao Xiaoyang, Li Hongling, et al. Potato grading method of mass and shapes based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(17): 143—148. (in Chinese with English abstract)
- [5] Pholpho T, Pathaveerat S, Sirisomboon P. Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy[J]. Journal of Engineering, 2011, 104(1): 169—172.
- [6] 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): 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.): 194—199. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王红军, 熊俊涛, 黎邹邹, 等. 基于机器视觉图像特征参数的马铃薯质量和形状分级方法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 272—277.
Wang Hongjun, Xiong Juntao, Li Zouzou, et al. Potato grading method of weight and shape based on imaging characteristics parameters in machine vision system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(8): 272—277. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李恺, 杨艳丽, 辜松, 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, Gu Song, et al. Determination and grading of Anthurium based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(24): 196—203. (in Chinese with English abstract)
- [9] Jean A T Pennington, Rachel A Fisher. Classification of fruits and vegetable[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22(Supp.): 23—31
- [10] Akira Mizushima, Lu Renfu. A low-cost color vision system for automatic estimation of apple fruit orientation and maximum equatorial diameter[J]. Transactions of the ASABE, 2013, 56(3): 813—827.
- [11] 熊俊涛, 邹湘军, 刘念, 等. 基于机器视觉的荔枝果实采摘时品质检测技术[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 54—60.
Xiong Juntao, Zou Xianliang, Liu Nian, et al. Fruit quality detection based on machine vision technology when picking litchi[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 54—60. (in Chinese with English abstract)
- [12] 邓继忠, 李山, 张建筑, 等. 小型农产品分选机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 245—250.
Deng Jizhong, Li Shan, Zhang Jianling, et al. Design and test of small-scale sorting machine for agricultural products[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 245—250. (in Chinese with English abstract)
- [13] 应义斌, 饶秀勤, 黄永林, 等. 水果高速实时分级机构控制系统[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5): 117—121.
Ying Yibin, Rao Xiuqin, Huang Yonglin, et al. Controller for real-time sorting mechanism of fruits[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5): 117—121. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李光梅, 魏新华, 李法德, 等. 水果综合分选机称重模块的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 96—100.
Li Guangmei, Wei Xinhua, Li Fade, et al. Design and implementation of weighing module for fruit integrative grader[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(2): 96—100. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王松磊, 何建国, 贺晓光, 等. 红枣自动分级机分级执行系统的研制[J]. 宁夏工程技术, 2009, 8(3): 229—232.
Wang Sunlei, He Jianguo, He Xiaoguang. Developed on grading actuator system of jujube automatic classifier[J]. Ningxia Engineering Technology, 2009, 8(3): 229—232. (in Chinese with English abstract)
- [16] 蔡文. 水果动态称重与自动分选控制系统研究与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
Cai Wen. Research and Development of the control system for Fruit Dynamic Weighing and Automatic Sorting Lines[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [17] Tao Y. Method and apparatus for sorting objects including stable color transformation[J]. United State Patent, 1996(5): 533—567.
- [18] 应义斌, 景寒松, 马俊福, 等. 机器视觉技术在黄花梨尺寸和果面缺陷检测中的应用[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 197—200.
Ying Yibin, Jing Hansong, Ma Junfu, et al. Application of machine vision to detecting size and surface defect of huanghua pear[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1999, 15(3): 197—200. (in Chinese with English abstract)
- [19] 魏新华, 周杏鹏, 李法德, 等. 杠杆式水果高速分级卸料装置的优化设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(10): 120—125.
Wei Xinhua, Zhou Xingpeng, Li Fade, et al. Optimal design of the lever-styled high-speed fruits discharging assembly[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(10): 120—125. (in Chinese with English abstract)
- [20] 田绪顺. 干制红枣机器视觉分级分选装置机械系统的设计[D]. 石河子: 石河子大学, 2013.
Tian Xushun. Design of Mechanical Systems of Red Jujube Grader Based on Machine Vision[D]. Shihezi: Shihezi University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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 Yongsheng, Qian Jun, Liu Gang, et al. Recognition and shape features extraction of apples based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 161—165. (in Chinese with English abstract)
- [22] 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 with English abstract)
- [23] 郑冠楠, 谭豫之, 张俊雄, 等. 基于计算机视觉的马铃薯自动检测分级[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 166—168, 156.
Zheng Guannan, Tan Yuzhi, Zhang Junxiong, et al. Automatic detection and classification of potato based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 166—168, 156. (in Chinese with English abstract)
- [24] 常清英, 李春燕, 金仲辉. 从磁滞回线了解铁磁性材料的

- 性能[J]. 物理通报, 2011(6): 72—73.
Chang Qingying, Li Chunyan, Jin Zhonghui. To understand of the properties of ferromagnetic materials based on magnetic hysteresis loop[J]. Physics Bulletin, 2011(6): 72—73. (in Chinese with English abstract)
- [25] 邓聘. 硅钢材料的磁化特性及其磁路分析的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
Deng Pin. Research on Magnetization Characteristic and Magnetic Circuit of Silicon-Iron Materials[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [26] 顾仁涛. 正时滚子链传动的动态特性研究[D]. 济南: 山东大学, 2008.
Gu Rentao. Study on Dynamic Behavior of Timing Roller Chain Drive[D]. Jinan: Shandong University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [27] 刘同海, 滕光辉, 付为森, 等. 基于机器视觉的猪体尺测点提取算法与应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 161—168.
Liu Tonghai, Teng Guanghui, Fu Weisen, et al. Extraction algorithms and applications of pig body size measurement points based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(2): 161—168. (in Chinese with English abstract)
- [28] 袁春兰, 熊宗龙, 周雪花, 等. 基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(1): 85—87.
Yuan Chunlan, Xiong Zonglong, Zhou Xuehua, et al. Study of infrared image edge detection based on sobel operator[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(1): 85—87. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李了了, 邓善熙, 丁兴号. 基于大津法的图像分块二值化算法[J]. 微计算机信息, 2005, 21(8): 76—78.
Li Liaoliao, Deng Shanxi, Ding Xinghao. Binarization algorithm based on image partition derived from da-jing method[J]. Microcomputer Information, 2005, 21(8): 7—78. (in Chinese with English abstract)
- [30] 闫蓓, 王斌, 李媛. 基于最小二乘法的椭圆拟合改进算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(3): 295—298.
Yan Bei, Wang Bin, Li Yuan. Optimal ellipse fitting method based on least-square principle[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(3): 295—298. (in Chinese with English abstract)
- [31] 贾洪雷, 王刚, 郭明卓, 等. 基于机器视觉的玉米植株数量获取方法与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 215—220.
Jia Honglei, Wang Gang, Guo Mingzhuo, et al. Methods and experiments of obtaining corn population based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(3): 215—220. (in Chinese with English abstract)

Design and experiment of synchronization actuator system based on electromagnetism for fresh jujube classifier

Kang Ningbo¹, Qiang Feng², Wu Longguo¹, Wang Songlei^{1,2}, He Jianguo^{1,2*}

(1. School of Construction and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The production of the machine, which classifies small-sized fruits according to their images, depends on the speed of the image classification and the actuator. The existing classifier for fresh jujube has the issue that the efficiency of image processing doesn't match the timeliness of executive mechanism. And the speed of the actuator and the accuracy of positioning restrict the efficiency of classification. In order to improve the speed of classification of the image classifier for fresh jujube, an image classifier for fresh jujube is designed based on electromagnetic synchronous executor in this paper. The machine is composed of roller conveyor chain, dialing plate chain, electromagnets, synchronous drive sprocket, STM32F407 image processor and STM32F103 co-processor. The dialing plate chain of the actuator consists of 60 unit dialing plates. Chain transmission was adopted to ensure the synchronous precision with the roller conveyor chain. The dialing plate tension spring was buckled by the switch of the buckle. The material of the buckle was silicon steel, of which the hysteresis loop was narrow, which can enhance the sensitivity of electromagnetic triggering, and made the dialing action finished instantly. The location of fresh jujube corresponding to the unit plate, which would guarantee the alignment accuracy between the head of the dialing plates and fresh jujube. Pop-up strength of the unit dialing plate was designed according to the peel hardness, the size and the weight of jujube. In image processing, G channel component, Sobel operator filtering, Otsu binaryzation, and eigenvalues extracted by ellipse fitting were adopted. A threshold value was used to calculate the percentage of the color of green, extract the size of feature value of the color and classify the image of green jujube. The algorithm was suitable for fast processing embedded system. The theory of algorithms and the test of image classification show that the synchronization error of chain transmission was 0.413 mm, the pop-up force of unit dial plate was 2.57 N, which was less than the damage strength (12.69 N) of the peel of red jujube, the time of each image processing was 50 ms, the time of the actuator for acting was 40 ms, the speed of roller conveying was 320 mm/s, the speed of classifying was 20 jujubes per second, the accuracy rate of classification was 93.7%, the intact rate was 100%, and the maximum capacity was 1 400 kg/h. Results indicated that the sensitive trigger and the synchronous mechanism of synchronous electromagnet ensured the classification precision, and the touch force of dial plate was less than the damage stress of the red jujube skin. Also, the hardware design of image processing was an embedded system, which met the requirements of fast calculation through the algorithm of image processing and feature extraction. The running effect of the prototype achieves the purpose of fast, accurate and nondestructive classification.

Keywords: computer vision; image processing; design; electromagnetic actuator; fresh jujube; classifier