

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.047

猕猴桃自动分级设备设计与试验*

左兴健 武广伟

(北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 针对目前猕猴桃采后人工分级费时费力、自动分级成本高等问题,通过机械分离输送、图像采集与处理、智能控制等技术,研制了一套实用的猕猴桃自动分级设备。该设备包括单行定位输送系统、图像采集系统、分级执行系统和控制系统,通过多特征提取和融合分级的方法对猕猴桃实现了自动分级,同时在线监控参数。经试验验证,该设备按体积、形状、表面缺陷特征分级的准确率分别可达 88.9%、91%、94%,融合分级的准确率可达 86%。

关键词: 猕猴桃 分级 图像处理 BP 神经网络

中图分类号: TP391.41; TS255.35 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0287-09

引言

猕猴桃分级是其进入市场前一个非常重要的环节,直接关系到后续包装、运输、贮藏和销售。由于采后分级技术水平低等因素,作为猕猴桃的原产国及世界第一生产大国,我国出口的猕猴桃在国际市场缺乏竞争力,2007年我国猕猴桃出口仅占全球的2%,出口价格仅为进口价格的1/4^[1]。目前,国内外专门用于猕猴桃分级的设备少,全自动分级的设备机械结构复杂,价格通常比较昂贵^[2]。Heinemann等^[3]设计了按照马铃薯大小和形状进行分级的自动检测装置,采用8邻域跟踪算法和傅里叶描述子进行马铃薯大小和形状的评估,试验表明该系统完全满足实际生产要求, Li等^[4]利用平面镜在线获取苹果图像信息,并结合神经网络训练的方法来检测缺陷。

本文研制一种分别提取猕猴桃图像的几何特征、形状特征和缺陷特征,再融合3种特征进行分级的猕猴桃分级设备。

1 分级设备总体结构

该分级设备主要分为机械部分、控制部分和图像处理部分。机械部分主要包括储料框、单行定位系统、图像采集系统、分级执行系统;控制部分包括上位机控制部分、下位机控制部分、位置传感器;图像处理部分包括图像预处理、图像特征提取、特征融合等。整体机械结构如图1所示。

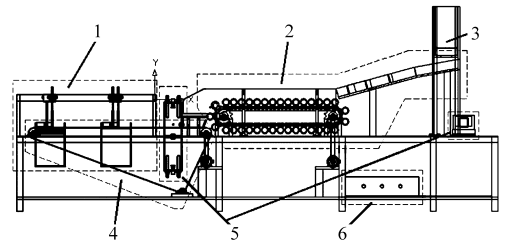


图1 分级设备结构

Fig. 1 Structure sketch of grading equipment

1. 分级执行系统 2. 单行定位系统 3. 储料框 4. 分级输送带
5. 图像采集系统 6. 控制系统

该设备的工作流程如下:首先向储料框中加入少量猕猴桃或缓慢加入猕猴桃,然后接通电源,上位机向下位机发送启动指令,下位机接收到该指令后启动分级设备,在摄像头初始化后,摄像机进入图像采集状态。猕猴桃经单行定位系统呈单列单个状传送到图像采集系统,下位机接收到来自图像采集系统中的位置传感器的猕猴桃就位信号后,立即将此信号发送至上位机。上位机随即存储来自摄像机的图像,其余时刻采集的图像丢失。上位机对存储的运动图像进行图像处理、分级判断等相关操作后将分级结果发送至下位机。此时猕猴桃经传送带已到达分级执行系统处,下位机控制分级执行系统进行分级。每个猕猴桃都经过相同的分级流程。在分级过程中,通过上位机的人机界面可获知猕猴桃分级的相关参数和设备的运行状态。

1.1 单行定位系统

单行定位系统主要包括单行滑板装置和单个定

收稿日期:2014-07-07 修回日期:2014-08-22

* 新疆生产建设兵团重大科技资助项目(2013AA004-2)

作者简介:左兴健,硕士生,主要从事农业智能装备研究,E-mail:zuo_xj@163.com

通讯作者:武广伟,副研究员,主要从事精准农业智能装备研究,E-mail:wugw@nrcita.org.cn

位输送装置。储料框下落的猕猴桃先经单行滑板装置使猕猴桃呈单列状,再经单个定位输送装置使呈单列状的各个猕猴桃彼此之间有一定的间隔。

1.1.1 单行滑板装置

单行滑板装置的俯视图如图2所示,由侧挡板、底板、支架以及两侧的调节阀组成。经多次试验得知,滑板倾斜角设置为 15° 时猕猴桃从侧挡板向调节阀方向运动时逐渐呈单列状且不堵塞。当猕猴桃下落到单行滑板装置时,利用猕猴桃沿滑板的重力分量与滑板两侧的调节阀,调节阀的开度依次减小,最终只允许单个猕猴桃通过^[5],使猕猴桃逐渐呈单列状下落到单个定位输送装置上。

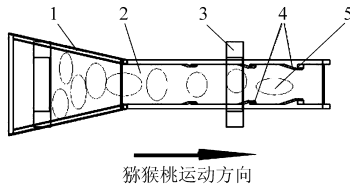


图2 单行滑板装置俯视图

Fig.2 Vertical view of single-line sliding device

1. 侧挡板 2. 底板 3. 支架 4. 调节阀 5. 猕猴桃样本

1.1.2 单个定位输送装置

单个定位输送装置如图3所示,由链条、空心定位轴、链轮、销轴、电动机I及机架组成。空心定位轴直径为50 mm,用铆钉固定在链条的翼板上,电动机I通过V带、销轴、链盘带动链条运动,空心定位轴随链条一起运动。猕猴桃从单行滑板下落到相邻2个空心定位轴之间的凹陷处彼此被分成单个^[6],相互之间被空心定位轴隔开。经试验可知每个猕猴桃之间有40~60 mm的间隔。

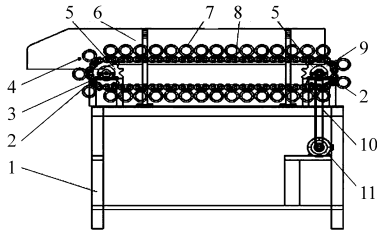


图3 单个定位输送装置

Fig.3 Single positioning delivery device

1. 机架 2. 轴承座 3. 销轴 4. 传感器 5. 链盘 6. 侧挡板
7. 空心定位轴 8. 链条 9. 皮带轮 10. 三角带(普通V带)
11. 电动机I

1.2 图像采集系统

图像采集系统如图4所示,由封闭箱、摄像机、位置传感器、上位机组成。单个定位输送装置到透明传送带约有50 mm的高度差,故在图像采集箱前面设置一个减速塑料软板。猕猴桃从单个定位输送装置下落在减速塑料软板上,经此软板减速后猕猴桃就平稳地落在传送带上且随之一起运动。

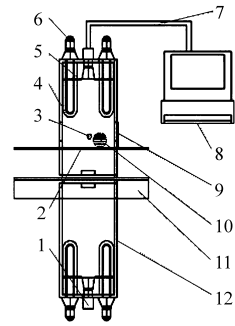


图4 图像采集系统

Fig.4 Image capture system

1. 摄像机 2. 透明传送带 3. 位置传感器(光敏传感器) 4. 灯罩 5. 白色背景纸 6. 节能灯 7. 数据线 8. 上位机 9. 减速塑料软板 10. 猕猴桃样本 11. 支架 12. 图像采集箱

图像采集在封闭的图像采集箱中进行,经多次试验获知在白色的背景下提取到的运动图像便于后续处理。采集箱的8个箱角安装9 W的白光节能灯并附灯罩使光照稳定且均匀,使每次采集到的猕猴桃图像质量稳定。摄像机位于箱体上下面的中央位置,透明传送带是便于同时双面采集图像^[7],使采集到的图像清晰、完整。

1.3 分级执行系统

分级执行系统俯视图如图5所示,由分级透明传送带、分级挡板、推拉式电磁铁和分级框等组成。

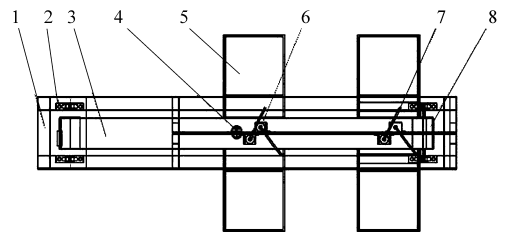


图5 分级执行系统俯视图

Fig.5 Vertical view of grading executive system

1. 支架 2. 轴承座 3. 透明传送带 4. 猕猴桃 5. 分级框
6. 推拉式电磁铁 7. 挡板 8. 滚筒

上位机对获得的猕猴桃图像经过图像处理、分级判断后,将分级结果传送到下位机。下位机接收到此信号后,就接通推拉式电磁铁电源并维持1 s。通电时间内猕猴桃在传送带的运动作用下随挡板方向下落至对应等级的分级框,通电结束后挡板会在弹簧力的作用下自动提升。若该猕猴桃属于最差等级,猕猴桃随分级透明传送带的运动直接被挡落到最后一个分级框,最后一个挡板无需推拉式电磁铁。推拉式电磁铁响应快,使挡板移动迅速,结构简单且灵敏。

2 图像处理

本系统中采用 Matlab 软件编写上位机中的

图像处理及分级判断程序。图像处理分为图像预处理、特征提取和融合分级3个步骤,如图6所示。

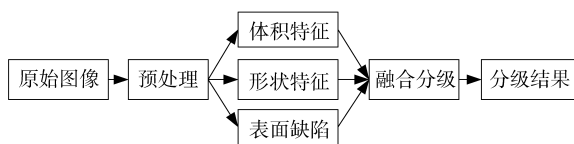


图6 图像处理过程

Fig. 6 Image processing

2.1 图像预处理

猕猴桃随传送带作匀速直线运动,导致所拍摄的图像出现运动模糊,如图7a所示。假设系统的点扩散函数PSF(Point-spread function)为已知,经多次试验在对已模糊图像分析和处理的基础上估计最逼近的PSF,且猕猴桃的运动方向已知,这样即可构造出复原模型来实现猕猴桃运动模糊图像的去模糊。本系统采用维纳滤波实现图像复原^[5],复原图像如图7b所示。将复原后的图像转换为灰度图,并采用中值滤波对此灰度图进行去噪处理,去噪后的图像如图7c所示。对图7c采用Canny法进行边缘检测,结果如图7d所示。对图7d进行膨胀处理得图7e,继而对图7e进行填充、腐蚀、开运算和删除冗余像素等操作,获得猕猴桃的区域图像如图7f所示。将图7f作为模板,与图7c的图像进行与运算^[6],得到从背景中分割出来的猕猴桃灰度图像,并将此图像中的大量白色背景裁掉,得到预处理后的图像如图7g所示^[8]。

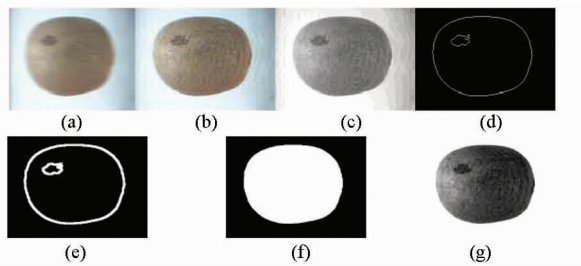


图7 图像预处理

Fig. 7 Image preprocessing

(a) 原始图像 (b) 复原图像 (c) 去噪灰度图像 (d) 边缘检测图像 (e) 膨胀处理图像 (f) 区域图像 (g) 预处理后的图像

2.2 体积特征描述

上下2个摄像机拍摄的图像经过预处理,然后将预处理后的2幅图像投影的平均像素数作为体积分级参数^[9-12],并选取20个大小不一且形状较规则的同品种同批次的猕猴桃作为样本,拟合猕猴桃平均像素数与其实际质量的关系。经试验得出猕猴桃图像的平均像素数 Y 与其实际质量 W 之间的近似关系为

$$Y = 798W + 34\ 081 \quad (1)$$

参照猕猴桃等级规格标准^[13],并结合式(1)得出猕猴桃大小分成3等时各等级像素阈值如表1所示。

表1 猕猴桃大小标准及像素阈值

Tab. 1 Size specifications of kiwi and its pixel thresholds

质量/g	规格	像素阈值
0 ~ 80	小	0 ~ 97 921
80 ~ 100	中	97 921 ~ 113 881
大于 100	大	大于 113 881

2.3 形状特征描述

采用傅里叶描述子^[14-18]对猕猴桃形状进行描述。预处理后的图像经二值化处理后作为新的猕猴桃区域图像,以此图像第1行中第1个非零像素点 Q 作为起始点对该区域图像进行边界跟踪,得到边界序列点 V_0, V_1, \dots, V_{n-1} (n 为序列点个数)。各边界序列点的坐标为 (x_k, y_k) ($k=0, 1, \dots, n-1$)。通过二重积分求取区域图像的中心点坐标 (x_c, y_c) ,继而计算半径序列并归一化处理,得到

$$r_k = \frac{[(x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2]^{1/2}}{r_{\max}} \quad (k=0, 1, \dots, n-1) \quad (2)$$

式中 r_k ——归一化后的半径序列

r_{\max} ——归一化前半径序列的最大值

半径序列 r_k 的离散傅里叶变换 $F(\omega)$ 为

$$F(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} r_k \exp\left(-j \frac{2\pi k\omega}{n}\right) = A(\omega) + jB(\omega) \quad (\omega=0, 1, \dots, n-1) \quad (3)$$

式中 $\exp()$ ——傅里叶变换函数

ω ——频率, rad

则傅里叶描述子 $|F(\omega)|$ 为

$$|F(\omega)| = (A^2(\omega) + B^2(\omega))^{1/2} \quad (4)$$

常见的6种猕猴桃边缘如图8所示,分别对其归一化后的半径序列进行离散傅里叶变换,即可得对应的傅里叶描述子 $|F(\omega)|$ 。

分析图8中每幅边缘图像的 $|F(\omega)|$,可知随着

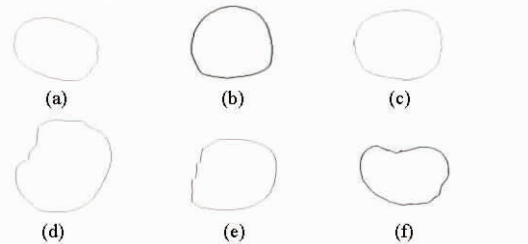


图8 猕猴桃各类形状示例

Fig. 8 Shape examples of kiwi

(a) 第1种 (b) 第2种 (c) 第3种
(d) 第4种 (e) 第5种 (f) 第6种

频率的增加,每种形状的傅里叶描述子均迅速下降,此时 $|F(\omega)| \rightarrow 0$,为计算简便同时保证图像总体形状信息完整,用离散傅里叶变换的前15项分量描述猕猴桃的边界信息。经推导可求得 r_k 的 m 阶导数为

$$\left| \frac{d^m}{dk^m} r_k \right| = 2\pi\omega^m |F(\omega)| \quad (5)$$

从式(5)可知,半径序列 r_k 的导数可以用 $F(\omega)|$ 与 ω^m 的乘积表示,形状越不规则,半径序列的变化越剧烈,其 m 阶导数就越大, $\omega^m |F(\omega)|$ 也就越大,故 $\omega^m |F(\omega)|$ 可作为半径规则程度的判定依据。

为了能够识别具有缩放、旋转、平移、起始点位置不同的猕猴桃形状,将 $|F(\omega)|$ 进行归一化处理

$$D(\omega) = \frac{|F(\omega)|}{|F(1)|} \quad (\omega = 0, 1, \dots, n-1) \quad (6)$$

式中 $D(\omega)$ ——归一化后的傅里叶描述子

用半径序列 r_k 的一阶导数即足以表征其变化程度,故令式(5)中的 $m=1$ 。定义形状分类器 X 为

$$X = \sum_{\omega=0}^{14} \omega D(\omega) \quad (7)$$

由前述分析可知, X 越大,半径序列 r_k 变化越剧烈,形状就越不规则。分类器 X 对图8所示的6种猕猴桃形状的计算结果如表2所示。对表2中的数据进行分析,可设形状的不规则度描述阈值为1.85,当 $X > 1.85$,形状等级为差,反之形状等级为好。

表2 形状分类器计算结果

Tab.2 Calculating results of shape classifier

项目	图8a	图8b	图8c	图8d	图8e	图8f
X	1.7514	1.5967	1.7280	2.1533	1.9277	1.9263
形状等级	好	好	好	差	差	差

2.4 基于BP神经网络的面缺陷识别

猕猴桃常见表面缺陷有表皮擦伤、刮伤、碰伤等。将预处理后的灰度图像压缩成 100×100 的矩阵,提取该矩阵的中值、最大值、最小值、最大值与最小值之差,将其作为猕猴桃表面特征参数。从拍摄的猕猴桃图像中选取训练样本100个,每个样本提取上述4个特征: $C_{ij} (i=1,2,3,4; 1 \leq j \leq 100)$ 表示第 j 个样本的第 i 个特征,组成 4×100 维的特征数据矩阵 C ,采用极值归一化方法对 C 归一化处理,得到归一化的特征数据矩阵 C^* 。

$$C_{ij}^* = \frac{C_{ij} - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \quad (i=1,2,3,4; j=1,2,\dots,100) \quad (8)$$

式中 C_{ij}^* ——归一化后的特征数据

C_{\min} ——特征数据矩阵的最小值

C_{\max} ——特征数据矩阵的最大值

随机选取测试样本,提取每个测试样本的特征数据 c_1, c_2, c_3, c_4 ,对其进行归一化处理。

$$c_i^* = \frac{c_i - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \quad (i=1,2,3,4) \quad (9)$$

得到测试样本特征数据 $c = (c_1^*, c_2^*, c_3^*, c_4^*)$,分别将每个测试样本的特征数据 c 输入训练后的BP神经网络进行测试^[19-23],实现对猕猴桃表面缺陷的识别。

2.5 融合分级

依据前述可知,猕猴桃的体积规格分为大、中、小3个档次,其形状分为好、差2个档次,其表面分为有缺陷、无缺陷2个档次。以猕猴桃等级规格^[12]为依据,并结合消费者的喜好制定了如表3所示的融合标准。本文以表3为标准对体积、形状、表面缺陷3个特征进行融合,将猕猴桃分成4个等级。由表3可知,只要表面有缺陷的猕猴桃都被分为四等品。

表3 猕猴桃等级划分

Tab.3 Four grades of kiwi

等级	体积	形状	表面缺陷
一等品	大	好	无
二等品	中	好	无
三等品	小	好	无
	大	差	无
	中	差	无
	小	差	无
四等品	大	好	有
	大	差	有
	中	好	有
	中	差	有
	小	好	有
	小	差	有

3 控制系统设计

控制系统主要分为上位机与下位机2部分。上位机中程序使用LabVIEW 8.6软件^[24-25]编写,以完成图像存储、调用图像处理及分级判断程序、上位机与下位机之间的通信以及人机交互等功能。下位机以单片机STC89C52为核心,接收上位机指令并实时完成对电动机、推拉式电磁铁等的控制,且将传感器检测的猕猴桃状态参数传输至上位机。

3.1 上位机的监控

上位机的人机交互界面提供启动、暂停、继续、停止操作以及猕猴桃分级结果、分级进度、分级中的相关参数等信息,如图9所示。

首先点击启动图标启动设备,上位机对摄像机

进行初始化后,调用图像采集程序驱动 2 个摄像机持续采集图像并传至上位机^[26-27]。当上位机接收到下位机发送的猕猴桃就位信号后,随即存储此时摄像机采集的图像,继而调用图像处理及分级判断程序对此图像进行分级处理^[26-27],然后通过串口将处理结果发送到下位机并更新人机交互界面上的显

示信息。当用户在上位机的人机界面上进行启动、暂停以及停止等操作时,该命令会立即通过串口传至下位机,下位机做出相应的动作以控制设备的运行^[30-31]。串口参数设置为 9 600 b/s、8 数据位和 0 校验位。



图 9 人机交互界面

Fig. 9 Human-computer interface

3.2 下位机的控制

下位机(即 STC89C52)及其外围电路用于完成对电动机驱动模块(如电动机、推拉式电磁铁等)的控制以及对设备运行状态的采集与传输等。控制程序由主程序及各子程序组成。主程序主要完成系统初始化、子程序调用等,子程序包括位置传感器检测程序、串口通信程序、串口中断服务程序以及电动机驱动程序等^[32]。

当下位机接收到上位机发送的启动指令后,自行完成自身的初始化,并通过串口与上位机实现通信。下位机的 P1 口控制电动机驱动模块,同时启动单个定位输送装置的电动机 I 和分级透明传送带的电动机 II。若有猕猴桃到达图像采集箱时,位置传感器通过外部中断 1 将猕猴桃就位信号传输至下位机,随即下位机将此信号发送至上位机。上位机接收到该信号后,随即完成图像存储、处理以及分级判断等操作,并经串口将分级结果传输至下位机。下位机根据此分级结果来控制电动机驱动模块使相应的分级挡板动作,将猕猴桃送入对应的分级框,从而实现猕猴桃的分级。

4 分级试验

本设备选用高帧率 GS-500C1/2 英寸 CCD 摄像机,焦距为 8 mm 的定焦距镜头,500 万像素,USB 直接供电。光源采用额定电压为 220 V、功率为 9 W 的白光节能灯并附灯罩。电动机 I、电动机 II 分别采用 GW31ZY-14 型和 GW31ZY-63 型的直流电

动机,2 个电动机的额定电压均为 12 V。2 个电动机的速度差保证了某一小段时间内图像采集系统和分级执行系统中只有一个猕猴桃,使得图像处理与分级执行的复杂度降低。采集箱尺寸为 250 mm × 480 mm × 500 mm,传送带尺寸为 2 500 mm × 180 mm,整机尺寸为 4 100 mm × 510 mm × 1 150 mm,经试验测试供电功率约 190 W。上位机的 CPU 是 Intel 酷睿 i3 处理器,内存为 2 GB。上位机与下位机进行通信所定义的信号代码含义如表 4 所示。

表 4 上位机与下位机的信号连接

Tab. 4 Signal connection between PC and lower computer

信号	发送代码
猕猴桃就位	0X55
一等品猕猴桃	0X31
二等品猕猴桃	0X32
三等品猕猴桃	0X33
四等品猕猴桃	0X34
开始	0X30
暂停	0X35
停止	0X36

4.1 体积分级试验

将 90 个体积不一且形状较规则的同品种同批次的猕猴桃按体积分为大、中、小 3 等,进行在线体积分级试验,试验结果如表 5 所示。由表中数据可知该设备体积分级的平均准确率为 88.9%。

4.2 形状分级试验

人工选择形状好的猕猴桃 47 个、形状差的猕猴桃

表 5 体积分级结果

Tab. 5 Grated results based on the size of kiwi

体积	测试样本个数	分级正确个数	准确率/%	平均准确率/%
大	27	24	88.9	
中	34	30	88.2	88.9
小	29	26	89.7	

桃 53 个作为试验样本,以前述的 X 作为分类器,将此 100 个猕猴桃放入分级设备进行自动分级,试验结果如表 6 所示。由表中数据可知该设备形状分级的平均准确率可达 91%。

表 6 形状分级结果

Tab. 6 Grated results based on shape of kiwi

形状	测试样本 个数	分级正确 个数	准确率/ %	平均准确率/ %
好	47	42	89.4	91
差	53	49	92.5	

4.3 表面缺陷分级试验

对预先拍摄的 100 幅猕猴桃图像提取其统计特征向量并归一化处理后作为训练样本,对设备实际运行中拍摄的 100 幅猕猴桃图像以相同方法提取统计特征向量并经归一化处理后作为测试样本,以 BP 网络作为识别器,对猕猴桃进行表面缺陷的识别,试验结果如表 7 所示。由该表可知,BP 网络分级的平均准确率可达 94%。

表 7 表面缺陷分级结果

Tab. 7 Grated results based on surface defect of kiwi

表面 缺陷	测试样本 个数	分级正确 个数	准确率/ %	平均准确率/ %
有	50	48	96	94
无	50	46	92	

4.4 融合分级试验

对设备进行 7 次自动融合分级试验,每次试验的猕猴桃样本数量递增,每次自动分级试验后对各个等级的猕猴桃再进行检验,以人工检验的结果作为参考值,统计每个等级中被错误分级的个数。准确率计算式为

$$\eta = \left(1 - \frac{|\Delta A| + |\Delta B| + |\Delta C| + |\Delta D|}{N} \right) \times 100\% \quad (10)$$

式中 ΔA 、 ΔB 、 ΔC 、 ΔD ——一、二、三、四等品中错误分级的猕猴桃个数

N ——样本数量 η ——准确率, %

融合分级的试验结果与人工分级结果的对比如表 8 所示,其中 A 、 B 、 C 、 D 分别代表一、二、三和四等品的分级个数。

表 8 自动分级结果与人工分级结果对比

Tab. 8 Comparison of automatic graded results and artificial graded results

试验 次数	试验样本 个数	自动分级结果				人工分级结果			
		A	B	C	D	A	B	C	D
1	50	11	15	16	8	12	17	15	6
2	80	17	26	24	13	20	28	20	12
3	100	24	30	31	15	27	34	26	13
4	150	36	44	47	23	41	48	43	18
5	200	46	61	62	31	53	67	57	23
6	250	56	77	79	38	64	85	69	32
7	300	68	94	93	45	77	104	82	37

通过表 8 中的数据对比,统计出一、二、三和四等品中错误分级的猕猴桃个数,分级所耗费的时间和准确率如表 9 所示。

表 9 融合分级结果

Tab. 9 Fusion graded results

试验 次数	样本 数/个	错误分级数/个				准确率/ %	时间/ s
		\Delta A	\Delta B	\Delta C	\Delta D		
1	50	1	2	1	2	88.0	256
2	80	3	2	4	1	87.5	406
3	100	3	4	5	2	86.0	493
4	150	5	4	4	5	88.0	734
5	200	7	6	5	8	87.0	976
6	250	8	8	10	6	87.2	1 227
7	300	9	10	11	8	87.3	1 467

由表 9 可知:本设备在 1 467 s,即 25 min 的时间内分级 300 个猕猴桃,约 30.5 kg,即每分钟分级约 1.22 kg 猕猴桃;以人工分级结果作为参考值,融合分级的准确率达 86%。

综合分析表 5 ~ 7 中的试验结果可知,以单个特征即分别按体积、形状、表面缺陷特征分级的准确率分别达 88.9%、91%、94%。对比可知,融合分级准确率有所降低,分析有以下 3 个方面的原因:①各单个特征的分级误差叠加。②以人工分级作为参考标准,而人工分级含有较强的主观性,本身就有一定的误差。③由图像处理与分级算法而引起的误差,如以平均像素点与实际质量的拟合函数关系存在误差、形状的不规则度阈值与主观分级时存在误差、BP 网络在表面缺陷分级时也存在误差,等等。

通过猕猴桃的分级试验结果分析还可知,该设备总是把有表面缺陷的猕猴桃分至四等品,而不会分至其他类别,这样就不会影响到其他猕猴桃的贮藏,因为表面有缺陷的猕猴桃常会缩短其他猕猴桃的贮藏时间。综述可知,虽然融合分级的准确率略有降低,但其分级结果是更合理的综合评价。

5 结论

(1) 针对目前猕猴桃人工分级费时费力、自动分级成本高导致普及程度低的问题,设计了一套猕猴桃实用的自动分级设备。在该设备中,机械部分主要包括储料框、单行定位系统、图像采集系统、分级执行系统,并配套了上位机的图像采集、图像处理与分级判断、人机交互以及下位机控制等程序。

(2) 设计了单行定位、图像采集、传送以及分级执行装置,采用透明传送带和封闭的图像采集环境,实现了完整与稳定的图像采集;单行定位系统把猕猴桃分离成单列且彼此间有 40 ~ 60 mm 的间隔,保证了摄像机对单个猕猴桃进行图像采集,减轻了图

像处理、分级判断以及最终分级操作的复杂度。

(3) 设计了考虑体积、形状和猕猴桃表面缺陷的融合分级程序,经上位机可以获知已分级猕猴桃的个数等分级过程中的参数。试验结果表明:以单个特征即分别按体积、形状、表面缺陷特征分级的准确率分别达 88.9%、91% 和 94%,而融合分级的准确率可达 86% 以上。

(4) 本设备需要将猕猴桃缓慢倒进储料框或每次加入少量猕猴桃,否则偶尔会引起堵塞,但即使缓慢进料,生产量仍可达到每分钟分级 1.22 kg,该分级效率能够满足广大的中小型用户猕猴桃采后自动分级作业的需求。

参 考 文 献

- 霍尚一. 猕猴桃产业发展的奇迹——新西兰猕猴桃案例启示[J]. 生态经济, 2011, 28(5): 131 - 135.
Huo Shangyi. Miracles of New Zealand's kiwi industry - development: case study of New Zealand's kiwi and its revelation [J]. Ecological Economy, 2011, 28(5): 131 - 135. (in Chinese)
- Abedini J. Post harvest physiology and technology of kiwi [M]. Tehran, Iran: Danesh-Negar Publishers, 2004.
- Heinemann P H, Pathare N P, Morrow C T. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes[J]. Machine Vision and Applications, 1996, 9(1): 14 - 19.
- Li Qingzhong, Wang Maohua, Gu Weikang. Computer vision based system for apple surface defect detection [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36(2 - 3): 215 - 223.
- 黄秀玲, 郑加强, 赵茂程. 基于自动定向的苹果品质智能分级生产线设计[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(7): 3037 - 3038, 3041.
Huang Xiuling, Zheng Jiaqiang, Zhao Maocheng. Study on the production line for the intelligent grading of apple quality based on automatic orientation [J]. Journal of An'hui Agriculture Science, 2008, 36(7): 3037 - 3038, 3041. (in Chinese)
- 葛纪帅, 赵春江, 黄文倩, 等. 基于智能称重的水果分级生产线设计[J]. 农机化研究, 2012, 33(1): 126 - 130.
Ge Jishuai, Zhao Chunjiang, Huang Wenqian, et al. Study on fruit grading production line based on intelligent weighing [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 33(1): 126 - 130. (in Chinese)
- 吴荣森, 吴保奎. 基于计算机视觉技术的苹果分选检测研究[J]. 南通职业大学学报, 2009, 23(4): 74 - 77.
Wu Rongsen, Wu Baokui. Research on grading apple size and defect based on computer vision [J]. Journal of Nantong Vocational College, 2009, 23(4): 74 - 77. (in Chinese)
- 胡少兴, 马成林, 张爱武, 等. 采用运动图像处理检测排种器充填性能[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 56 - 59.
Hu Shaoxing, Ma Chenglin, Zhang Aiwei, et al. Application of kinetic image processing to measurement of seed distribution [J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(5): 56 - 59. (in Chinese)
- 周玉, 彭召意. 运动模糊图像的维纳滤波复原研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 181 - 183.
Zhou Yu, Peng Zhaoyi. Study on wiener filtering for restoration of motion blurred image [J]. Computer Engineering and Application, 2009, 45(19): 181 - 183. (in Chinese)
- 展慧, 李小昱, 王为, 等. 基于机器视觉的板栗分级检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 327 - 331.
Zhan Hui, Li Xiaoyu, Wang Wei, et al. Determination of chestnuts grading based on machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 327 - 331. (in Chinese)
- 邵和鸿, 郑万挺, 彭加寅. 基于计算机视觉技术的猕猴桃分级方法[J]. 北京生物医学工程, 2009, 28(5): 531 - 533.
Shao Hehong, Zheng Wanting, Peng Jiayin. Chinese gooseberry stage division based on computer vision [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2009, 28(5): 531 - 533. (in Chinese)
- 安爱琴, 余泽通, 王宏强. 基于机器视觉的苹果大小自动分级方法[J]. 农机化研究, 2008(4): 163 - 166.
An Aiqin, Yu Zetong, Wang Hongqiang. The method of automatic apple hierarchy based on machine vision [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(4): 163 - 166. (in Chinese)
- NY/T 1794—2009 猕猴桃等级规格[S]. 2009.
- 林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 基于计算机视觉技术的水果形状分级方法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 71 - 74.
Lin Kaiyan, Wu Junhui, Xu Lihong. Separation approach for shape grading of fruits using computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(6): 71 - 74. (in Chinese)
- Rashidi M, Gholami M. Classification of fruit shape in kiwi using the analysis of geometrical attributes [J]. American-Eurasian

- Journal of Agriculture & Environ Sciences, 2008, 3(2): 258 - 263.
- 16 Sadrnia H, Rajabipour A, Jafari A, et al. Classification and analysis of fruit shapes in long type watermelon using image processing [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2007, 9(1): 68 - 70.
- 17 Rashidi M, Seyfi K. Classification of fruit shape in cantaloupe using the analysis of geometrical attributes [J]. World Journal of Agriculture Sciences, 2007, 3(6): 735 - 740.
- 18 黄星奕,姜爽,陈全胜,等. 基于机器视觉技术的畸形秀珍菇识别 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 350 - 353.
Huang Xingyi, Jiang Shuang, Chen Quansheng, et al. Identification of defect pleurotus geesteranus based on computer vision [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 350 - 353. (in Chinese)
- 19 陈坤杰,孙鑫,陆秋琰. 基于计算机视觉和神经网络的牛肉颜色自动分级 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 173 - 178.
Chen Kunjie, Sun Xin, Lu Qiuyan. Automatic color grading of beef lean tissue based on BP neural network and computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 173 - 178. (in Chinese)
- 20 Sadeghi B H M. A BP-neural network predictor model for plastic injection molding process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 103(3): 411 - 416.
- 21 曹乐平,温芝元. 补偿模糊神经网络水果形状分级器分级误差 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 102 - 105.
Cao Leping, Wen Zhiyuan. Error of compensation fuzzy neural network fruit grader [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 102 - 105. (in Chinese)
- 22 展慧,李小昱,王为,等. 基于神经网络和图像处理的板栗分级检测方法研究 [C] // 中国农业工程学会 2009 年学术年会论文集, 2009.
Zhan Hui, Li Xiaoyu, Wang Wei, et al. Research on the detecting method of chestnut grading based on neural network and image processing [C] // Proceedings of the CSAE 2009, 2009. (in Chinese)
- 23 曹乐平. 基于周长面积分形维数的柑橘品种机器识别 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 351 - 354.
Cao Leping. Machine recognition of citrus variety based on the fractal dimension of perimeter-area [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 351 - 354. (in Chinese)
- 24 何志杰,乐仁昌. 基于 LabVIEW 的图像采集系统设计 [J]. 福建师范大学福清分校学报, 2009, 24(5): 12 - 17.
He Zhijie, Le Renchang. The design of LabVIEW-based image acquisition system [J]. Journal of Fuqing Branch of Fujian Normal University, 2009, 24(5): 12 - 17. (in Chinese)
- 25 袁媛,李绍稳,汪伟伟,等. LabVIEW 软件平台在果园生态环境远程监测系统中的应用 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 186 - 188.
Yuan Yuan, Li Shaowen, Wang Weiwei, et al. Application of LabVIEW to remote monitoring system for orchard environment [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 186 - 188. (in Chinese)
- 26 陈冰,袁雪,管国强,等. 基于 LabVIEW 的生物发酵过程远程在线监控系统设计 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 174 - 177.
Chen Bing, Yuan Xue, Guan Guoqiang, et al. Remote monitoring and on-line control system of biological fermentation process based on LabVIEW [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 174 - 177. (in Chinese)
- 27 吴仁涛,姜云海,左建勇. 基于 LabVIEW 平台的 USB 视频采集方法与应用 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2011, 31(3): 80 - 82.
Wu Rentao, Jiang Yunhai, Zuo Jianyong. Vision acquisition based on LabVIEW and USB camera [J]. Industrial Instrumentation and Automation, 2011, 31(3): 80 - 82. (in Chinese)
- 28 马永强,华宇宁. 基于 LabView/MatLab 的人脸识别系统设计与实现 [J]. 科技资讯, 2007, 5(7): 15 - 16.
Ma Yongqiang, Hua Yuning. Design and implementation of face recognition system based on LabView/MatLab [J]. Science and Technology Information, 2007, 5(7): 15 - 16. (in Chinese)
- 29 李文斌,张建宇. LabVIEW 和 MATLAB 混合编程在齿轮箱故障诊断系统中的应用 [J]. 机械设计与制造, 2011, 49(4): 71 - 73
Li Wenbin, Zhang Jianyu. Application for fault diagnosis system of gearbox of rolling mill based on LabVIEW and MATLAB [J]. Mechanical Design & Manufacture, 2011, 49(4): 71 - 73. (in Chinese)
- 30 陈丽芬,陈小香,王峥,等. 一种 LabVIEW 环境下温湿度计的人机界面设计与实现 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 115 - 116.
Chen Lifen, Chen Xiaoxiang, Wang Zheng, et al. The realization of human - computer interface of humidity temperature meter in LabVIEW [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(10): 115 - 116. (in Chinese)
- 31 韩定安,曾亚光. 基于 labVIEW 机器视觉的微小位移动态测量 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(31): 135 - 136.
Han Dingan, Zeng Yaguang. Dynamically measuring weenie displacement based on LabVIEW vision [J]. Microcomputer Information, 2007, 23(31): 135 - 136. (in Chinese)
- 32 张毅刚,彭喜元. 单片机原理及接口技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

Design and Experiment on Automatic Grading Machine for Kiwi

Zuo Xingjian Wu Guangwei

(*Beijing Research Center for Intelligent Agriculture Equipments, Beijing 100097, China*)

Abstract: The kiwifruit automatic grading machine is an important machine for postharvest processing of kiwifruit. A set of practical automatic kiwi fruit grading machine was designed based on technologies of mechanical separation and conveyance, image capture and processing as well as intelligent control. This set of equipment mainly consisted of material storage bin, single-line positioning system, image capture system and grading executive system. And it also has programs of image capture, image processing, grade determination and human-machine interaction for the host computer as well as control programs for the slave computer. By testing, this machine was capable of grading by three features of size, shape and surface defect and their grading accuracy could reach to 88.9%, 91% and 94%, respectively. And the accuracy of integrated grading could reach to 86%.

Key words: Kiwi Grading Image processing BP neural network

(上接第 264 页)

Design and Experiment of Vegetable Grafting Robot Operated by One-person for Cucurbitaceous Seedlings Cultivated in Humus Pots

Chu Jia Zhang Tiezhong

(*College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China*)

Abstract: To improve the grafting rate and automation of grafting robot used currently in seedling production, a high-efficiency vegetable grafting robot operated by one-person for cucurbitaceous seedlings cultivated in humus pots was designed based on splice grafting method. The machine consisted of six units, i. e. , a scion gripping and transporting unit, a scion straight-cutting unit, a stock gripping and transporting unit, a stock rolling-cutting unit, a clip auto-arranging and sending unit and a grafted-seedling bowl auto-arranging unit. Experiments were conducted in laboratory and field. Results showed that the success rate of grafting was 92% and the practical grafting rate was 285 plants per hour (with the theoretical grafting rate of 440 plants per hour). Under the same success rate of grafting, the grafting rate of this machine was 36% higher than the grafting machine for cucurbitaceous seedlings cultivated in humus pots operated by two persons.

Key words: Grafting robot Cucurbitaceous Seeds in humus pot One-person operation