

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.032

基于机器视觉的大枣表面缺陷检测

Detection of the Chinese Jujube surface defects by machine vision

王春普 文怀兴 王俊杰

WANG Chun-pu WEN Huai-xing WANG Jun-jie

(陕西科技大学机电工程学院, 陕西 西安 710021)

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

摘要:以中国灵武长枣为试验对象,采用 Halcon12.0 视觉处理软件,通过支持向量机的方法,在 HSI 颜色空间中提取 H 分量的均值、方差作为颜色特征值。通过试验选择高斯核函数,当核函数为 0.2,正则常数为 0.005 时达到较好的分级效果,准确率达到 94.6%,大大提高了大枣无损在线检测效率,降低了劳动强度和成本。

关键词:表面缺陷;Halcon12.0;支持向量机;颜色特征值

Abstract: Based on LingWu jujube as experimental object, used the Halcon12.0 visual processing software by the method of support vector machine (SVM) in IHS color space to extract the mean value and mean variance of H component as the color eigenvalues. Selected the gaussian kernel function by the experiments. When the kernel parameter was 0.2, and the regular constant was 0.005, the accuracy rate was 94.6%, which greatly improved the efficiency of nondestructive on-line detection, decreased the labor cost and labor intensity, and eliminated the scruple on the accuracy of on-line detection for jujube to processors. It has large research significance in fruit grading.

Keywords: the surface defects; Halcon12.0; the method of support vector machine; color eigen value

大枣的营养价值高^[1],但由于皮薄且脆,容易损伤^[2],特别是在采收、运输和贮存过程中,由于自然和人为的因素容易造成表面缺陷^[3]。根据相关标准^[4]描述,大枣表面缺陷主要有锈斑、黑斑、畸形果,烂浆果,裂果,机械伤等。表面破损的大枣容易受到外界空气的氧化发生变质,在清洗过程中也容易受到污染,影响大枣产品附

加值,同时也一定程度上阻碍了大枣的商品流通化^[5]。

人工检测不仅对工人要求高,工作量大,且受个人主观因素影响,造成分选偏差,很难保证检测精度的一致性^[6]。机器视觉系统通过工业相机获取大枣的图像,具有快速、准确、可靠、无损等优点,极大地提高检测效率和机械自动化程度。张萌等^[7]提出了一种亮度快速校正的算法,对虫害枣、霉烂枣有很好的检测效果,但未对黑斑、烂浆果、裂果等进行检测。

支持向量机在解决小样本、非线性和高维模式识别中表现出许多特有的优势,并能推广应用到函数拟合等其他机器学习问题中。为此,本试验拟以中国灵武长枣为试验对象,通过支持向量机的方法对大枣表面的烂浆、机械伤、斑痕、病虫、裂纹 5 种缺陷进行检测,以期为大枣的分级提供理论依据与技术支持。

1 检测分级设备的设计

该检测分级设备主要由上料箱、输送链、图像采集装置、气吹分级机构、电机以及落料箱等组成,保证接通电源、开启启动按钮后可以实现灵武长枣的自动上料、单个传送、自动获取大枣表面图像、检测等级、气吹落料 5 个主要功能。

检测分级设备三维模型如图 1 所示,具体工作过程为:启动分级机电机,辊轴传送链在电机的带动下随着主动轴运动,大枣从上料斗处上料,上料部分的链轮为倾斜向上,未平稳定位的大枣从传送带上滑落重新定位,保证大枣能够单排输送;传送链上的辊轮采用凹槽型设计,可以让未落入辊轮输送链的大枣随着辊轮滚动,与辊轮边缘不断摩擦,进入辊轮输送链中,保证大枣快速平稳定位。当大枣经过触发开关时,摄像机采集图像,图像采集区处辊轮下方依然安装柔性搓动板,辊轮与柔性搓动板不断摩擦,带动大枣转动。柔性搓动板的长度至少能让大枣绕自身旋转一圈,保证相机能采集到大枣全方位图

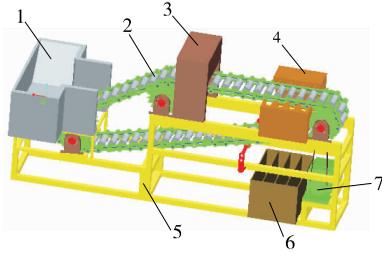
基金项目:陕西省科学技术研究与发展计划项目(编号:2016NY-158)

作者简介:王春普,男,陕西科技大学在读硕士研究生。

通信作者:文怀兴(1957—),男,陕西科技大学教授,博士生导师,博士。E-mail:wenhx@sust.cn

收稿日期:2018-05-06

像,拍摄到的同一大枣 3 幅图片依次被传送到图像处理系统,完成对大枣图像的采集;大枣检测分级系统对枣进行分析判定,得出枣的等级,随之将分级结果信息传送给气动分级系统,气动分级系统控制电磁阀的开关,当大枣被传送带传送到对应的喷气嘴时,电磁阀打开,喷气嘴喷出气流,将大枣吹入对应的落料箱中,完成大枣整个分级过程。其中工业相机型号为 MV-GED500M-T,具有感应器面积小,焦距短等特点。LED 光源具有寿命高、响应速度快、稳定性好、波长可以根据用途选择等优点,故选择环形 LED 灯作为光源。



1. 上料箱 2. 输送链 3. 图像采集装置 4. 气吹分级机构
5. 机架 6. 落料箱 7. 电机

图 1 大枣分级机三维模型

Figure 1 Three-dimensional model of jujube classifier

2 分类判别方法

2.1 支持向量机分类

通过对大枣表面信息的训练,根据大枣表面是否存在缺陷,通过支持向量机的判别方法,将枣分为“good”和“bad”两类。超平面 H 是从 n 维空间到 $n-1$ 维空间的 1 个映射子空间,假设训练样本数据 $T = \{(x_i, y_i), i = 1, \dots, n, x \in R_d, y \in (+1, -1)\}$ 可以被超平面 $\omega^T x + b = 0$ 准确分开,且距离超平面最近的向量与超平面之间的距离最大,则该训练样本数据被超平面分开^[8]。对于超平面 $H: \omega^T x + b = 0$,假设 x 为超平面上任意一点,那么 x 点到超平面 H 之间的距离为 x 点到超平面 H 的法向量长度,距离为:

$$d = \frac{|\omega^T(x - x')|}{\|\omega\|} = \frac{\omega^T x + b}{\|\omega\|}, \quad (1)$$

假设线性可分的训练集 $T = \{(x_i, y_i), i = 1, \dots, n, x \in R_d, y \in (+1, -1)\}$ 。

分类面方程为:

$$\omega^T x + b = 0, \quad (2)$$

$$y_i(\omega^T x_i + b) \geq 1. \quad (3)$$

其中两个分类超平面为: $\omega^T x + b = 1, \omega^T x + b = -1$ 。

两个分类超平面之间距离可表示为 $2/\|\omega\|$,几何间隔与误分次数存在一定的关系,几何间隔越大,误分次数越少。使两个分类超平面距离最大,即在式(3)的基础上,求函数(4)的最小值。

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 = \frac{1}{2}(\omega^T \omega), \quad (4)$$

对于线性可分问题,可以非常准确地选择出分化训练集的超平面;对于一般分类问题,由于包含线性不可分问题,上述方法是行不通的,可能是由于此分类超平面不存在。故需要在式(3)中添加松弛变量 $\xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n$,使约束条件[式(3)]变为:

$$y_i(\omega^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \quad (5)$$

当 ξ_i 足够大,训练点 (x_i, y_i) 总有满足上述约束条件,但需避免 ξ_i 取值过大。在目标函数里加入含有 $\sum \xi_i$ 的项,使其成为最优化问题。

$$\min\left(\frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i\right), \quad (6)$$

式中:

C ——惩罚因子, C 值始终大于 0。

惩罚因子越大,意味着目标分类函数准确性越小,同时也意味着对此类离群样本点越重视^[9]。

构造分化超平面 $(\omega^* \cdot x) + b^* = 0$,则支持向量机的判决函数:

$$f(x) = \text{sign}[g(x)] = \text{sign}\left[\sum_{i=1}^l y_i \alpha_i^* (x_i \cdot x) + b^*\right]. \quad (7)$$

其中大部分系数 $\alpha_i = 0$,只有少部分 α_i 不为 0,不为 0 的数确定了支持向量机,多种分类情况时可以通过二叉树方法解决。引入核函数,其作用为输入 2 个低维向量,可得到经过某个变换后在高维空间中向量的内积值。其中 $K(x_i, x) = x_i \cdot x$,则式(7)变形为:

$$f(x) = \text{sign}\left[\sum_{i=1}^l y_i \alpha_i^* K(x_i, x) + b^*\right]. \quad (8)$$

在支持向量机判别中,将 $f(x)$ 大于某个临界值的分为一类,小于某个临界值的分为一类。

2.2 颜色特征的提取

图像特征反映了目标特征的差异性,具有明显的实用价值。由于缺陷大枣的判别主要根据大枣的表面性质,与大枣的颜色息息相关,且图像或图像区域的方向、大小对颜色的影响较小,故本课题选用大枣的颜色特征作为图像特征。统计物体描述采用基本数值表示,称为特征。HSI 颜色空间比 RGB 颜色空间更能显示人类的视觉特征,方便计算,为计算机图像处理中常用的模型,故试验中将 RGB 颜色模型转换为 HSI 颜色模型,由式(11)~(14)可以看出 I 分量为 $R、G、B$ 三分量和的均值, S 分量只与 RGB 中最小分量有关,故 $I、S$ 分量在缺陷处变化不明显,不适合作为特征值。 H 分量在缺陷处变化较为明显,故选用 H 分量作为特征值。

本文选取色调(H)的均值、 \overline{H} 方差 σ_H 作为支持向量

机的选取特征。 \bar{H} 表示大枣的整体颜色,方差 σ_H 表示大枣各个像素颜色的离散程度。

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}, \quad (9)$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2}, \quad (10)$$

式中:

σ_H ——大枣色调的均值;

N ——大枣像素的总数;

H_i ——大枣第 i 个像素的色调。

RGB 颜色模型转换为 HIS 颜色模型的关系为:

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{[(R-G)+(R-B)]/2}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right\}, \quad (11)$$

$$H = \begin{cases} \theta, B \leq G; \\ 360 - \theta, B > G, \end{cases} \quad (12)$$

$$S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B}, \quad (13)$$

$$I = \frac{R + G + B}{3}. \quad (14)$$

2.3 核函数及正则常数的选择

核函数的选择对于支持向量机的判别检测性能非常重要,常甜甜^[10]对核函数的选择做了深入的研究。通过不同的试验,确定了采用径向基核函数得出的试验结果准确率较高。径向基核函数具有以下优点:① 参数少,只有核参数和惩罚因子,模型复杂性较低,稳定性较好,结果不会有太大偏差;② 能隐藏节点数,避免了神经网络方法求解不出局部极小点问题。故选用径向基核函数作为支持向量机模型的核。

核函数 c 和正则常数 γ 影响着核函数及分类器的分类准确性。目前无统一的方法求核函数和正则常数,一般是通过多次试验选择合适的值。本试验采用二因素三水平正交试验(表 1)比较核函数和正则常数对检测分级效果的影响,选择最佳核函数和正则常数。

从表 2 中可以看出核函数的极差较大,表明核函数的影响较大,正则常数次之。核函数要求指标适中,取 3 个水平中间所对应的值,即 0.2。正则常数要求指标越大越好,取 3 个水平中最大值,即 88.233,对应的正则常数为 0.005。

表 1 因素水平表

Table 1 The factor design level table

水平	核函数	正则常数
1	0.1	0.001
2	0.2	0.005
3	0.3	0.010

表 2 核函数及正则常数正交表

Table 2 The kernel function and regular constant orthogonal Table

试验号	核函数	正则常数	试验结果
1	1	1	86.7
2	1	2	91.2
3	1	3	87.7
4	2	1	82.5
5	2	2	94.6
6	2	3	77.2
7	3	1	82.5
8	3	2	78.9
9	3	3	83.3
k_1	88.533	83.900	
k_2	84.767	88.233	
k_3	81.567	82.733	
R	6.966	5.500	

3 试验验证

本文选取的试验材料为宁夏灵武大枣,在 240 个样本中,取出 80 个正常大枣和 40 个缺陷大枣进行训练,其中 80 个正常大枣和 40 个缺陷大枣即为已知训练样本,分别提取每个枣颜色特征中的 \bar{H} 、 σ_H ,建立大枣缺陷识别模型。通过建立的支持向量机检测模型判别正常大枣和缺陷大枣,并对其分类。图 2、3 分别为正常大枣、缺陷大枣测试结果图。当检测到大枣无缺陷时,显示“good”,当检测到缺陷大枣时则显示“bad”。图 5 为 SVM 参数选择 3D 图,5 种不同缺陷在 HIS 颜色空间特征一致。

由图 4 可知,开始时准确率随着 c 的增大而增大;当 $\gamma > 0.2$ 时,随着 c 的增大,准确率逐渐降低;当 $\gamma < 0.05$, $c < 0.5$ 时检测结果较为满意;当 $c = 0.2, \gamma = 0.005$ 时,正确率最高,为 94.6%。

4 结论

本文提出了基于支持向量机的大枣表面缺陷检测方



图 2 正常大枣

Figure 2 The normal jujube



图 3 缺陷大枣

Figure 3 The defect jujube

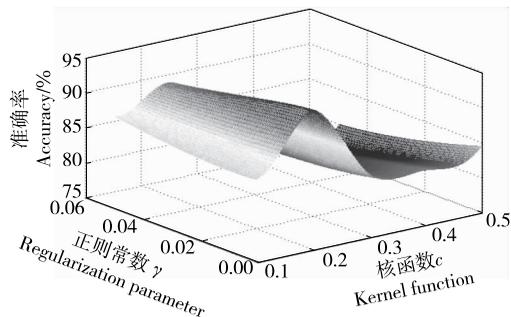


图 4 SVM 参数选择 3D 效果图

Figure 4 The SVM parameters select 3D renderings

法,选用 HSI 颜色模型中色调(H)分量的均值和方差作为特征参数,通过正交试验得出最佳的核函数和正则常数,建立基于支持向量机的大枣表面缺陷检测模型。通过试验验证,对测试样本缺陷的识别率达到 94.6%,相比赵杰文等^[11]的准确率(89.4%),平均水平已满足在线检测的准确性、效率性要求,说明机器视觉在线检测的准确率和效率完全不低于人工检测,并验证了支持向量机分类是一种优秀的分类方法应予以推广。该研究成果可以用于大枣的在线检测分级,同时也可以为其他水果的检

测分级提供一定的参考。由于实验室中光照不够均匀,鲜枣表面光滑使得采集到的图像容易形成亮斑,若虫枣的缺陷在大枣左右两端将无法被相机拍到,导致分级效果较差,后续可以采用改变大枣图像采集时的拍照方式,确保整个大枣表面均能被拍到,从而提高虫枣识别率;此外褶皱枣易识别为裂枣,需通过改变特征提取和识别的方式改进。

参考文献

[1] 亓树艳,王荔,莫晓燕. 大枣多糖的提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 117-120.
 [2] 沈从举,郑炫,贾首星,等. 6FGH-800 型滚杠式大枣分级机研制[J]. 新疆农业科学, 2015(3): 535-541, 550.
 [3] 刘志国,卢艳清,赵锦,等. 枣果吸水动力学和果皮特征对裂果的影响[J]. 植物遗传资源学报, 2015(1): 192-198.
 [4] 毛永民,宋仁平,申连英,等. GB/T 22345—2008 鲜枣质量等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-6.
 [5] 周禹含,毕金峰,陈芹芹,等. 中国大枣加工及产业发展现状[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 214-217.
 [6] 李啸宇,张秋菊. 颗粒状食品视觉检测分选技术的发展[J]. 食品工业科技, 2014(13): 378-381, 386.
 [7] 张萌,许敏. 大枣表面缺陷快速检测方法研究[J]. 江苏农业科学, 2015(7): 331-334.
 [8] 郭明玮,赵宇宙,项俊平,等. 基于支持向量机的目标检测算法综述[J]. 控制与决策, 2014(2): 193-200.
 [9] 李俊伟. 基于机器视觉技术的新疆鲜葡萄及葡萄干品质分析研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014: 28-31.
 [10] 常甜甜. 支持向量机学习算法若干问题的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010: 18-19.
 [11] 赵杰文,刘少鹏,邹小波. 基于支持向量机的缺陷红枣机器视觉识别[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 113-115, 147.

信息窗

俄农业部拟制定《可食用的野生植物资源》管理规范

据俄新社最新报道,俄罗斯农业部计划制定《可食用的野生植物资源》的管理办法用以加强对野生植物资源流通的控制。

据悉,该管理规范将涉及野生可食用资源的采集、收购、加工及后续的流通等内容。

在俄罗斯野生可食用的植物包括浆果、坚果、桦树汁、蘑菇和具有药用价值的植物等。

农业部指出,野生食物资源产品具有很高的出口潜力,因此需明确制定有关监管该类植物的国家政策以便促进行业发展、增加该产品的供应及提升出口额。

该草案内容可在俄联邦法律法规草案官方网站 regulation.gov 中查询。

(来源: <http://news.foodmate.net>)