

# 基于机器视觉的花菇分选技术\*

陈红<sup>1</sup> 夏青<sup>1</sup> 左婷<sup>1</sup> 谭鹤群<sup>2</sup> 边银丙<sup>3</sup>

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学植物科技学院, 武汉 430070)

**摘要:** 为了实现花菇的自动分选,设计了一种基于机器视觉的花菇分选系统,并提出了相应的算法。针对花菇分选中花菇的菇柄长度、形状类别和菌盖面积这3个重要分选指标,提出了一种曲线结构特征分析的分选方法。跟踪花菇边界并计算曲率,根据边界上点运动变化模式判断曲线凹凸性,利用曲线类半径识别并定位菇柄的位置。使用极坐标意义下的线性插值重建去除菇柄的菌盖边界曲线,在重建曲线基础上提取9种形状特征参数和1个大小特征参数,利用主成分分析法从9个形状参数中提取相应的3个主分量,以这3个主分量作为输入,构建K近邻分类器作为形状分选模型。结合花菇的菇柄识别情况、形状等级和大小等级共同判定花菇的最终等级。试验表明,菇柄识别正确率为91.4%,且菇柄识别能显著提高形状分选的准确率,最终形状分选正确识别率可达95.6%,花菇等级分选正确率为92.2%。

**关键词:** 花菇 机器视觉 分选 特征提取

**中图分类号:** TP391.4;S646.1<sup>+</sup>2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-1298(2014)01-0281-07

## 引言

干香菇在我国被誉为“山珍”,而花菇是干香菇中的珍品,具有很高的营养价值和药用价值,是出口创汇的重要农产品。进出口商品检验行业标准SN/T 0632—1997对出口花菇形状、大小、菇柄长度都做了相应规定<sup>[1]</sup>。受生长环境、加工等多种因素影响,花菇个体之间差异较大。在花菇分选中,需要联合花菇的形状等级,带柄与否以及菌盖面积大小共同决定花菇的等级。

由于花菇分选工序复杂,目前花菇只能依靠人工进行分选,不仅工作量大,工作效率低,且易出错。随着现代机器视觉技术的发展,越来越多的专家学者利用此项技术开展了农产品品质检测与分选的应用研究<sup>[2-12]</sup>。但将机器视觉技术应用到花菇品质检测方面的研究却鲜有报道。本文尝试利用机器视觉技术评定花菇的品质并进行等级分选。

## 1 试验材料与装置

### 1.1 试验材料

试验花菇样本来自湖北随州,花菇按形状可分成圆正菇、类椭圆菇、畸形菇3种类型。根据有柄与否将花菇分成带柄花菇和去柄花菇,带柄花菇的菇柄长度约为菌盖直径的2/3;去柄花菇的菇柄长度

在0.3 cm以下。在基于花菇边界曲线分析的图像处理中,菇柄的存在对菌盖形状的正确评价存在较大影响。

试验前依据SN/T 0632—1997的感官检验法,随机选取300个花菇样本,其中圆正菇、类椭圆菇和畸形菇各100个,其中60个为训练样本,其他40个为预测样本。从是否有菇柄的角度又可选中选取70个花菇(部分花菇边缘有破损)作为菇柄识别样本,其中带柄菇样本37个,去柄菇样本33个。另外再选取195个花菇样本进行花菇自动分选试验,花菇样本包含了特等菇40个,1等菇40个,2等菇40个,3等菇40个,等外菇35个,其中花菇的等级是由菌盖的直径大小及形状等因素来判断,如图1所示。在自动分选试验前,先利用游标卡尺准确地测量出每个花菇样本的菌盖直径,根据直径所在等级区间,花菇的形状等级以及是否带柄确定该花菇的等级,以此得出人工分选结果。本文中,先统计出试验样本总数,然后利用自动分选系统进行自动分选,对照人工分选的结果,统计出不正确样本总数,以此计算自动分选正确率。

### 1.2 花菇自动分选系统

花菇实时分选生产线主要由花菇排列系统、花菇翻转系统、花菇分选执行系统、计算机视觉系统和控制系统5部分组成,整体结构如图2所示。

收稿日期:2013-01-20 修回日期:2013-06-19

\* 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010JC006)和华中农业大学研究生科技创新专项资助项目(2012SC19)

作者简介:陈红,副教授,主要从事农产品加工装备研究,E-mail:chenhong@mail.hzau.edu.cn

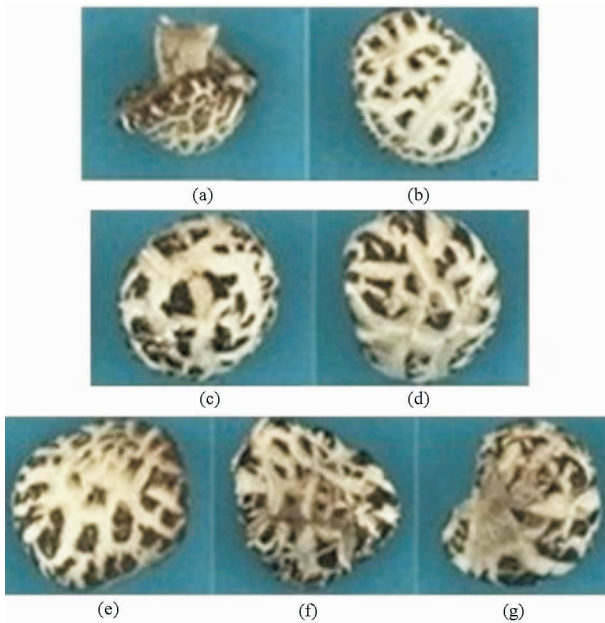


图1 各种类型花菇

Fig.1 Different kinds of shiitake mushroom

(a) 有柄菇 (b) 去柄菇 (c) 特等菇 (d) 1等菇  
(e) 2等菇 (f) 3等菇 (g) 等外菇

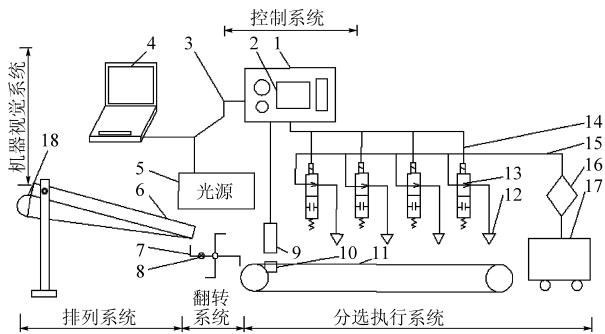


图2 自动分选系统

Fig.2 Automatic line of grading system

1. 分选系统控制箱 2. 液晶显示屏 3. 通信总线 4. 上位机  
5. 图像采集系统 6. 振动送料盘 7. 十字翻板机构 8. 传感器  
9. 光电传感器 10. 光电信号反射板 11. 输送带 12. 喷嘴  
13. 电磁阀 14. 电磁阀控制总线 15. 气动系统总管路 16. 压缩空气过滤系统 17. 空压机 18. 振动电动机

花菇在送料盘的振动作用以及其他辅助送料机构协同下,将花菇送到落料口处落下。花菇由落料口处落到由步进电动机带动的十字翻板机构上,同时触发传感器,传感器通知摄像头进行第1次图像采集。当图像采集完毕后,翻板机构转动 $90^\circ$ ,对花菇进行翻面,摄像头再次采集图像,第2次图像采集完毕后,十字翻板机构再次转动 $90^\circ$ ,将花菇送到分选输送带上。当花菇通过输送带上的传感器时,分选控制系统根据花菇的等级对相应位置的电磁阀进行相应延时,当花菇到达分选位置时,开启电磁阀启动喷嘴,将花菇吹落至相应的收集料箱。

其中计算机视觉系统主要由彩色相机、镜头、光

源箱、光缆以及计算机等组成,其中相机为 BASLER A102fc 型,配 1394 采集卡,镜头为 Computer M0514 - mp型,焦距 8 mm,相机在 30 帧/s 模式下工作。光源为经稳压后沿光源箱均布的 4 个 8 W 荧光灯。摄像头距离研究对象 35 cm。本试验图像采集系统如图 2 所示。

## 2 花菇边界特征分析

在拍摄花菇图像之后,去除其背景跟踪花菇边界,可以得到花菇的边界坐标序列。去柄菇的边界坐标曲线与该花菇的菌盖形状是一致的,但带柄菇的边界曲线形状和破损边界的曲线形状与菌盖的形状则存在显著差异。利用曲线曲率和类半径分析曲线的局部特征及整体特征,以分辨各部分曲线的所属类别。

### 2.1 花菇菇柄识别算法

曲率可以看做是边界曲线方向的变化率,表达的是曲线局部变化特征。现记花菇边界坐标点序列为 $(x_k, y_k)$ ,其中 $k=1, 2, \dots, N$ , $N$ 为边界坐标点个数, $x_k$ 和 $y_k$ 即为该花菇边界点在图像中的坐标值。可以用角度 $\varphi$ 变化来定义一个边界曲率函数 $\Theta(k)$ 。

$$\varphi_k = \frac{y_{k-1} - y_{k+1}}{x_{k-1} - x_{k+1}} \quad (1)$$

$$\Theta(k) = \varphi_{k+1} - \varphi_{k-1} \quad (2)$$

封闭曲线的类半径<sup>[13]</sup>反映了曲线的整体结构特征,得到花菇边界曲线的类半径序列

$$r_k = \sqrt{(x_k - x_0)^2 + (y_k - y_0)^2} \quad (3)$$

其中 $x_0$ 和 $y_0$ 为花菇形心 $O(x_0, y_0)$ 的横纵坐标值。 $r_k$ 称为花菇边界曲线的半径描述子。为了从结构上描述边界点的特点,需要引入角度信息。将其从直角坐标表示形式转换到极坐标表示形式,以形心 $O$ 作为极坐标原点。记类半径序列函数为

$$r(\theta_k) = r_k \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

为了方便表示,其连续函数表示形式为 $r(\theta)$ ,其意义为曲线上某点辐射角为 $\theta$ 时该点的类半径值。

利用曲率函数分析花菇边界曲线的局部特征,而类半径函数则能够分析花菇边界曲线的整体特征。结合曲线的局部和整体特征可以判断菇柄的存在与否以及其位置。

图 3 是一个典型的凸起和下巴区域查找示意图。图中, $O$ 为形心, $a$ 、 $b$ 点分别为凸起或下巴区域的起点和终点, $r_a$ 和 $r_b$ 分别为 $a$ 、 $b$ 点的类半径, $M$ 点为曲线上的运动点。

现假设有一个点 $M(x_k, y_k)$ 在曲线上朝正方向匀速运动(规定顺时针方向为正方向),记录与运动

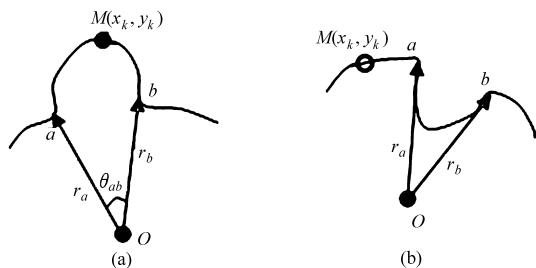


图 3 查找凸起和下巴区域方法示意图  
 Fig. 3 Finding convex and concave region  
 (a) 凸起区域 (b) 下巴区域

点重合点的曲率以及运动点的速度方向, 对于一个变化平缓的凸起区域, 运动点的速度方向会一直朝顺时针方向变化; 而对于下巴的区域则会朝逆时针方向变化。如图 3 所示, 当运动点顺时针运动到凸起区域边界时, 即图 3 中  $a$ 、 $b$  点位置, 速度会有一个朝逆时针方向的剧烈变化, 接着又重新朝顺时针方向变化。对于图 3b 的下凹区域, 运动点的速度方向又呈现出另外一种模式。当点运动到下巴区域的边界, 该点的运动方向会有一个朝顺时针方向的较大变化, 接着在其他所有下巴区域都会朝逆时针方向变化。依照运动点在凸起和下巴区域速度方向的角度变化模式的不同, 可以将整个封闭曲线分成几段具有相同凸凹性质且曲率大小大体一致的子曲线。

经过分析, 花菇的菌盖边界曲线、菇柄边界曲线以及菌盖边界破损部分的边界曲线在整体结构上有不同的特征。而利用类半径定义的特征参数可以很好地表达这些特征。

对于以  $a$ 、 $b$  为端点的曲线段由封闭曲线的类半径可以定义参数

$$S_{ab} = \int_{\theta_b}^{\theta_a} r(\theta) d\theta \quad (5)$$

$$\theta_{ab} = |\theta_a - \theta_b| \quad (6)$$

$$\bar{r}_{ab} = \frac{\int_{\theta_b}^{\theta_a} r(\theta) d\theta}{|\theta_b - \theta_a|} \quad (7)$$

式中  $\theta_a$ 、 $\theta_b$ ——曲线中  $a$  点和  $b$  点在极坐标下的辐射角

$r(\theta)$ ——类半径函数

$S_{ab}$ ——该段曲线上运动点绕形心扫过的面积

$\theta_{ab}$ ——运动点绕形心扫过的角度

式(7)定义了该段曲线中类半径的平均值。

对于不同类型的区域, 这几个参数的值有较大差异。普遍情况下, 菇柄边界曲线呈急剧凸起状, 其凸起程度与柄的长度相关, 此时该段曲线类半径均值较大, 面积和角度较小; 菌盖边界曲线呈平缓凸起状, 其类半径均值大小适中, 面积和角度较大; 而菌盖破损部分的曲线呈急剧下凹状, 类半径均值偏小,

面积和角度较小。依据这几种变化模式, 可以迅速判断出曲线的所属类别。

## 2.2 菌盖边界曲线的重建

去掉花菇的菇柄区域之后, 剩下的区域是一条不封闭的曲线, 为了直接评价花菇的菌盖形状, 必须把这条不封闭的曲线补充成为一个封闭曲线, 并且尽可能减小曲线与真实菌盖形状的误差。

试验证明, 应用极坐标下的线性插值可以达到较理想的效果。先将不封闭曲线上的点从直角坐标表示形式转换成极坐标表示形式, 然后对这些点进行线性插值以恢复花菇菌盖的本来形状, 其插值的实质是在两点之间补充具有一定弧度的螺旋线。

利用类半径的定义求取不封闭菌盖边界曲线的半径序列函数

$$r(\theta_k) = r_k \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

式中  $m$ ——不封闭曲线上点的个数

式中以角度  $\theta$  为自变量, 对此半径序列  $r_k$  进行线性插值就可以得到完整的花菇边界曲线。

## 3 形状及大小特征提取

### 3.1 常用形状参数

形状特征的选择和提取非常关键, 直接影响着分类的精度。本文选择了以下几个形状参数<sup>[14]</sup>对花菇的菌盖形状进行分类:

形状因子  $C_p$ : 目标面积与最小外接圆的面积之比, 反映了一个区域与圆形的接近程度。

离散性  $I_n$ : 目标区域最大弦长与最小弦长之比。

偏心率  $E$ : 目标区域的长轴长与短轴长之比, 也被称作偏心率或伸长度, 在一定程度上描述了区域形状。

密集度  $J$ : 面积与平均距离的平方之比, 表征目标区域边界的复杂程度。

### 3.2 基于傅里叶变换的形状参数

对半径描述子进行傅里叶变换可以有效地表达花菇形状的实际情况<sup>[15-18]</sup>。为了使花菇的外形存在可比性, 将半径序列进行适当的归一化, 归一化后的半径序列为  $r_g(k)$ 。

做离散傅里叶变换

$$F(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} r_g(k) e^{-j2\pi\omega k/n} \quad (9)$$

式中  $F(\omega)$ —— $\omega$  点的复数

经过试验表明, 当取  $n = 25$  时式(9)即足以描述花菇的外形。

傅里叶系数乘以频率可以用于判别边界的规则程度, 由此定义不规则度

$$W = \sum_{l=0}^L |F_l(\omega)| \omega \quad (10)$$

式中  $L$ ——截取的傅里叶描述子个数,取 20

$|F(\omega)|\omega$  可以理解为边界信号的导数,也可以理解为对高频分量的加权,这使得低频和低频分量可以在同样的尺度中进行比较。

### 3.3 基于椭圆拟合的形状参数

越是接近某一范围离心率(本文取值不超过 0.3)的椭圆的花菇,其外形评价越高,所以椭圆是花菇外形的一个重要指标。

对去除花菇菇柄之后的边界曲线进行形状重建,重建后的曲线  $\Gamma$  其类半径可表示为

$$r_r(\theta_k) = r_k \quad (k=1,2,\dots,N_r) \quad (11)$$

式(11)中  $N_r$  为重建后曲线  $\Gamma$  中点的个数。依据花菇边界类半径函数  $r(\theta)$  和椭圆拟合后的曲线类半径函数  $r_r(\theta)$  可以定义 2 个形状参数,这 2 个参数表征着花菇菌盖形状与椭圆的接近程度

$$\bar{r}_r = \frac{\int_0^{360} |r_r(\theta) - r(\theta)| d\theta}{|360 - 0|} \quad (12)$$

$$\bar{\rho}_r = \int_0^{360} (r(\theta) - \bar{r}_r)^2 d\theta \quad (13)$$

### 3.4 基于曲率函数的形状参数

边界曲线的曲率在一定程度上也反映了形状的规整与否,可使用曲线曲率  $\Theta(k)$  的均值和方差来定义另外 2 个形状参数。对于圆正菇,其边界曲线的变化一致且平缓,整个曲线均值和方差相对于形状不规整花菇的曲线要小。

$$\bar{\Theta} = \frac{\sum_{k=1}^N \Theta(k)}{N} \quad (14)$$

$$\rho = \sum_{k=1}^N (\Theta(k) - \bar{\Theta})^2 \quad (15)$$

式(14)定义了整个花菇边界曲线的曲率均值  $\bar{\Theta}$ ,式(15)定义了整个花菇边界曲线曲率的方差  $\rho$ 。

### 3.5 基于重建曲线的大小形状参数

花菇的等级主要依赖于菌盖面积大小,现以当量直径作为菌盖的直径,当量直径的意义为与菌盖面积相等圆的直径。该直径可以很好地描述菌盖面积大小,依据菌盖的当量直径即可直接判断其大小等级。

对于一个已标定曲线  $\Gamma$ ,可以计算其标定比

$$\lambda = \frac{B_{\text{Area}}}{B_{\text{Number}}} \quad (16)$$

式中  $B_{\text{Area}}$ ——标定曲线  $\Gamma$  包围的实际面积,在试验中该值已知

$B_{\text{Number}}$ ——标定区域的像素点数

由标定比可以计算任意一个重建曲线  $\Gamma$  包围

的实际面积

$$S_{\text{Area}} = \lambda S_{\text{Number}} \quad (17)$$

式中  $S_{\text{Area}}$ ——重建曲线  $\Gamma$  表达的实际面积

$S_{\text{Number}}$ ——程序计算出来的重建曲线  $\Gamma$  包围的像素点数

利用曲线  $\Gamma$  的实际面积可以计算菌盖的当量直径

$$D = \sqrt{\frac{S_{\text{Area}}}{\pi}} \quad (18)$$

## 4 分析试验与结果

### 4.1 花菇菇柄识别模型及其分选结果

在试验中,先利用曲线曲率的变化将曲线进行分段,即凸起段和下凹段,然后计算每段的 3 个结构特征值:类半径平均值  $\bar{r}_{ab}$ 、面积  $S_{ab}$  和角度  $\theta_{ab}$ ,对所有的样本进行主成分分析,用其第一和第二主成分可以得到各段曲线特征分布图,如图 4 所示。

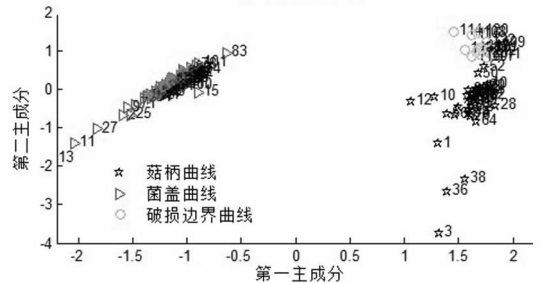


图 4 曲线特征分布图

Fig. 4 Distribution of curve features

对其数据进行简单聚类就可以得到各段曲线的所属类别,现选取 70 个测试花菇样本(部分花菇边缘有破损),其最终的识别率为 91.4%。

### 4.2 花菇形状分选模型及其分选结果

#### 4.2.1 形状分选标准及主成分因子数的确定

试验采集 300 个花菇样本,每种类型花菇样本 100 个,通过上述方法对这些样本图像进行分割,菇柄识别以及形状重建之后,对重建曲线提取 9 个不同意义的形状参数,各种类型花菇的形状参数分布如表 1 所示。这些参数分别是:形状因子  $C_p$ 、离散性  $I_n$ 、离心率  $E$ 、密集度  $J$ ,由类半径傅里叶描述子定义的不规则度  $W$ ; 2 个基于曲率定义的形状参数  $\bar{\Theta}$ 、 $\rho$ ; 2 个基于椭圆拟合的形状参数  $\bar{r}_r$  (以像素记)、 $\bar{\rho}_r$  (以像素记)。从圆正菇、类椭圆菇和畸形菇中各取 60 个作为训练样本,其余 40 个作为预测样本。

为了消除这 9 个形状参数之间的相关性,本文应用了主成分分析法。经过研究分析,当主成分因子数为 3 时,其主成分贡献率达到 89.37%,几乎可以表征花菇菌盖曲线的全部形状信息。试验证明,其分类效果良好。

表 1 花菇形状参数

Tab.1 Results of shiitake mushroom shape parameters

类别		$C_p$	$I_R$	$E$	$J$	$W$	$\bar{\Theta}$	$\rho$	$\bar{r}_r$	$\rho_r$
圆正菇	最大值	0.894	1.608	0.726	3.232	10.251	0.429	29.503	2.585	11.148
	最小值	0.828	1.123	3.171	0.685	0.115	0.076	2.864	0.771	0.928
	均值	0.864	1.290	0.492	3.190	1.249	0.176	10.611	1.661	4.561
	标准偏差	0.019	0.124	0.109	0.014	0.168	0.082	6.435	0.512	2.615
类椭圆菇	最大值	0.862	2.050	0.818	3.262	20.746	1.253	93.448	5.287	36.142
	最小值	0.773	1.259	0.229	3.133	6.832	0.184	15.292	2.096	7.655
	均值	0.819	1.589	0.619	3.206	8.984	0.335	36.787	3.432	18.878
	标准偏差	0.024	0.197	0.153	0.025	7.374	0.209	31.299	0.828	7.601
畸形菇	最大值	0.811	2.225	0.859	3.263	120.58	0.819	141.587	9.980	137.978
	最小值	0.6.9	1.556	0.356	3.154	15.561	0.258	30.623	3.244	16.787
	均值	0.738	2.088	0.687	3.206	36.067	0.387	69.005	5.447	49.940
	标准偏差	0.050	0.407	0.116	0.029	18.367	0.120	26.276	1.384	28.214

4.2.2 形状分选模型的建立

将经过主成分分析得出的 3 个主分量作为分选模型的输入。为了找出最佳的分类器,以便提高分选正确率,尝试使用  $K$  近邻分类器、BP 神经网络分类器和支持向量机分类器这 3 种模式识别法。试验结果表明 3 种方法都能达到较好的分类效果。相比较其他两种分类器, $K$  近邻分类器具有简单实用且

易于构造的特点,本文选用  $K$  近邻分类器作为最终的形状分选模型。

试验结果如表 2 所示,分选模型的分选正确率可达到 95% 以上。从识别结果来看,在菇柄识别前,圆正菇和类椭圆菇的识别状况并不理想,这是因为菇柄的存在严重干扰了花菇菌盖的形状评价,在进行形状重构之后,识别效率有较大提高。

表 2 花菇形状分选结果

Tab.2 Classification results from shiitake mushroom shape model

花菇类别	样本数	测试集形状分选结果							
		菇柄识别前正确识别数			识别率/%	菇柄识别后正确识别数			识别率/%
		圆正菇	类椭圆菇	畸形菇		圆正菇	类椭圆菇	畸形菇	
圆正菇	40	31	1	8	77.5	39	1	0	97.5
类椭圆菇	40	2	29	9	72.5	2	38	0	95.0
畸形菇	40	0	2	38	95.0	0	2	38	95.0

4.3 花菇等级分选模型及其分选结果

花菇的等级由多方面因素决定。本文的花菇等级分选模型由几部分构成,按照操作流程分别为:菇柄识别部分、形状分选部分和菌盖面积大小计算部分。经过菇柄识别可以识别菇柄并计算菇柄长度,而形状分选可以将花菇菌盖分选为 3 个等级,即圆正菇、类椭圆菇和畸形菇,接着

计算花菇菌盖的大小。结合花菇的菇柄长度、形状等级和菌盖面积大小可以对花菇进行等级判断。

利用花菇分选系统对所有的花菇进行自动分选,统计分选数据,最后计算分选正确率,得到的花菇等级分选结果如表 3 所示,其最终的分选正确率均值为 92.2%。

表 3 花菇等级分选结果

Tab.3 Grading results of shiitake mushroom

花菇级别	样本个数	测试集分选结果					识别率/%
		特等花菇	1 等花菇	2 等花菇	3 等花菇	等外花菇	
特等花菇	40	36	2	0	0	2	90.0
1 等花菇	40	1	37	1	0	1	92.5
2 等花菇	40	0	1	37	0	2	92.5
3 等花菇	40	0	0	1	38	1	95.0
等外花菇	35	1	1	1	0	32	91.4

## 5 结论

(1)设计了一种花菇自动分选系统,该系统综合利用串口通信、机器视觉、模式识别等相关技术,可以实现花菇的菇柄识别、形状分选以及花菇等级分选。

(2)提出了一种快速、可行的菇柄识别方法。先跟踪花菇边界得到边界坐标曲线。通过计算花菇边界曲线曲率和类半径,分析曲线的局部特征和整体特征,然后使用这些特征去识别菇柄。使用70个花菇样本对该算法进行测试,其识别率为91.4%。

(3)使用极坐标意义下的点对去掉花菇菇柄的

曲线进行线性插值,重构了花菇菌盖形状,有利于后续的花菇形状评价。

(4)在花菇菌盖重构曲线基础上提取了9个形状参数和1个大小参数。使用主成分分析法从9个形状参数中提取相应的3个主分量,这3个主分量能涵盖其89%以上的信息。以这3个主分量作为输入,构建了最小距离分类器作为形状分选模型来识别测试集花菇样本,其识别正确率为95.6%。计算重构后的菌盖当量直径,依据当量直径的大小并联合花菇的形状等级以及带柄与否判断花菇最终等级,其等级分选正确率为92.2%。

## 参 考 文 献

- 1 严泽湘. 出口干香菇的分级标准[J]. 河北农业,1999(10):25.
- 2 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):350~354.  
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):350~354. (in Chinese)
- 3 张烈平,曾爱群,陈婷. 基于计算机视觉和神经网络的芒果检测与等级分类[J]. 农机化研究,2008(10):57~60.  
Zhang Lieping, Zeng Aiqun, Chen Ting. Mango examination and rank classification research based on computer vision and neural network[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(10):57~60. (in Chinese)
- 4 黄星奕,林建荣,赵杰文. 基于支持向量机的苹果检测技术[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2005,26(6):465~467.  
Huang Xingyi, Lin Jianrong, Zhao Jiewen. Detection on defects of apples based on support vector machine[J]. Journal of Jiangsu University: National Science Edition, 2005,26(6):465~467. (in Chinese)
- 5 方建军,刘仕良,张虎. 基于机器视觉的板栗实时分级系统[J]. 轻工机械,2004(3):92~94.  
Fang Jianjun, Liu Shiliang, Zhang Hu. Real-time chestnut sorting system by machine vision[J]. Light Industry Machinery, 2004(3):92~94. (in Chinese)
- 6 王润涛,张长利,房俊龙,等. 基于机器视觉的大豆籽粒精选技术[J]. 农业工程学报,2011,27(8):355~359.  
Wang Runtao, Zhang Changli, Fang Junlong, et al. Soybean seeds selection based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(8):355~359. (in Chinese)
- 7 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 detecting and grading method of potatoes with computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(4):166~168,156. (in Chinese)
- 8 赵杰文,刘少鹏,邹小波,等. 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.  
Zhao Jiewen, Liu Shaopeng, Zou Xiaobo, et al. Recognition of defect chinese dates by machine vision and support vector machine [J]. Transactions of the CSAM, 2008,39(3):113~115. (in Chinese)
- 9 史智兴,程洪,李江涛,等. 图像处理识别玉米品种的特征参数研究[J]. 农业工程学报,2008,24(6):193~195.  
Shi Zhixing, Cheng Hong, Li Jiangtao, et al. Characteristic parameters to identify varieties of corn seeds by image processing[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(6):193~195. (in Chinese)
- 10 黎静,薛龙. 基于计算机视觉的脐橙分级系统研究[J]. 江西农业大学学报,2006,28(2):304~307.  
Li Jing, Xue Long. A study on navel orange grading system based on computer vision[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006,28(2):304~307. (in Chinese)
- 11 郝建平,杨锦忠,杜天庆,等. 基于图像处理的玉米品种的种子形态分析及其分类研究[J]. 中国农业科学,2008,41(4):994~1002.  
Hao Jianping, Yang Jinzhong, Du Tianqing, et al. A study on basic morphologic information and classification of maize cultivars based on seed image process[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008,41(4):994~1002. (in Chinese)
- 12 Ninomiya K, Kondo N, Chong V K, et al. Machine vision systems of eggplant grading system[R]. Automation Technology for Off-Road Equipment, 2004-10.
- 13 赵静,何东健. 果实形状的计算机识别方法研究[J]. 农业工程学报,2001,17(2):165~167.  
Zhao Jing, He Dongjian. Studies on technique of computer recognition of fruit shape[J]. Transactions of the CSAE,2001,17(2):165~167. (in Chinese)
- 14 丁筠,殷涌光,王旻. 蔬菜中大肠杆菌的机器视觉快速检测[J]. 农业机械学报,2012,43(2):134~139,145.  
Ding Yun, Yin Yongguang, Wang Min. Rapid detection based on machine vision for escherichia coli in vegetables[J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 134 ~ 139, 145. (in Chinese)
- 15 林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 基于计算机视觉技术的水果形状分选方法[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)
- 16 Zahn C T, Roskies R Z. Fourier descriptors for plane closed curves[J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, 21(3): 269 ~ 281.
- 17 王涛, 刘文印, 孙家广, 等. 傅立叶描述子识别物体的形状[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(12): 1 714 ~ 1 719.  
Wang Tao, Liu Wenyin, Sun Jiaguang, et al. Using Fourier descriptors to recognize object's shape[J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39(12): 1 714 ~ 1 719. (in Chinese)
- 18 E Persoon, KS Fu E Persoon, K S Fu. Shape discrimination using fourier descriptors[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 1986(3): 388 ~ 397.

## Determination of Shiitake Mushroom Grading Based on Machine Vision

Chen Hong<sup>1</sup> Xia Qing<sup>1</sup> Zuo Ting<sup>1</sup> Tan Hequn<sup>2</sup> Bian Yinbing<sup>3</sup>

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to grade of shiitake mushroom, grading system of a shiitake mushroom with the practical corresponding algorithm was developed based on machine vision. According to length of stem, shape sorting of shiitake mushroom, and method of area, identification algorithm based on curve reconstruction was presented. With shiitake mushroom as a case study, the boundary is tracked and the curvature is calculated by tracking the boundary, and then the concave-convex quality of boundary can be distinguished with the curvature, then the possible shiitake mushroom region is found and the actual position of the shiitake mushroom can be found with the class radius of curve. Linear interpolation of edge curve of the shiitake mushroom handle removed region is performed under polar coordinate, and the shape of pileus is reconstructed, then nine shape parameters and one parameter of size are distracted based on the curve reconstructed. The shape parameters are reduced to 3 with principal component analysis. The minimum distance classifier can be constructed as the sorting model with the 3 main shape parameters as input. Considering with the identification of stem of shiitake mushroom, the final identification of the shiitake is determined on both of the shape and the size classification. Experiments shows that the accuracy of stem identification is 91.4%, and the accuracy of shape sorting can be greatly improved by identification of stem of shiitake mushroom; the precision ratio of shiitake mushroom shape grading is 95.6%, while the accuracy of shiitake mushroom grading can reach to 92.2%.

**Key words:** Shiitake mushroom Machine vision Sorting Feature extraction