

基于灰度带比例的优质西瓜子识别算法研究与实现

赵吉文, 魏正翠, 汪洋, 高尚

(安徽大学电气工程与自动化学院, 合肥 230011)

摘要: 为了分拣出正常西瓜子, 根据西瓜子的特点, 提出了针对西瓜子的基于灰度带比例的特征值提取算法, 并在 CCD 色选机上进行了试验验证。在瓜子图像预处理中, 先对瓜子图像进行对比度自适应的直方图均衡化, 而后对瓜子的二值化图像进行中值滤波。在瓜子分类方面, 采用灰度带比例作为分类特征量, 并在 CCD 色选机上进行特征量分类训练, 最终分拣出正常瓜子, 识别率达到 95%。该算法为该西瓜子的分类识别提供了理论支持和技术实现。

关键词: 算法, 分类, 图像处理, 灰度带比例, 直方图均衡化, 中值滤波, CCD 色选机, 西瓜子

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.04.059

中图分类号: S237

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-04-0340-05

赵吉文, 魏正翠, 汪洋, 等. 基于灰度带比例的优质西瓜子识别算法研究与实现[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 340-344.

Zhao Jiwen, Wei Zhengcui, Wang Yang, et al. Research and implementation of recognition algorithm based on gray scale of watermelon seeds [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 340-344. (in Chinese with English abstract)

0 引言

近年来人们对瓜子类农产品的品质的要求不断提高, 瓜子在炒制之前的分选成为了一个重要的环节。随着生产规模的不断扩大, 人工分选效率较低(一般手工分选效率为 0.005 kg/s), 越来越不能满足需求, 进而产生了自动分选的机器。目前色选机是瓜子分选机器的重要设备。早期的色选机多为光电分选, 分选效率和准确性较低, 近年来发展起来的电荷耦合元件(charge coupled device, CCD)色选机成为瓜子分选设备的主流。CCD 色选机的核心技术为线阵图像分类技术, 其中的一些图像处理算法成为研究的热点问题。国内外学者均有成果出现。周一红^[1], 孙涌等^[2]提出了提取西瓜子的面积, 正交长短轴等一系列特征值来识别瓜子。李昊宇等^[3]提出的基于光度立体法翘板黑瓜子识别算法。各自在其目标瓜子分选上均有一定的效果。本文基于西瓜子(产自甘肃会宁, 品种: 新疆圆片)的颜色特征, 给出西瓜子的灰度带比例分类识别算法, 并在 CCD 杂粮色选机(型号: HS-010284CCD)上进行验证。图像预处理部分突破了以往的预处理思路, 具体在于: 1) 不是单纯地对图像进行直方图均衡化, 而是采用了对比度自适应的直方图均衡化; 2) 在对瓜子图像进行二值化以后, 进行了中值滤波, 为分类提供了很好的特征, 进一步采用灰度带比例值进行分类。为了验证算法的可靠性, 本文将该算法移植到 CCD 杂粮色选机上进行试验, 该色选系统采用现场可编

程门阵列(field programmable gate array, FPGA)并行硬件计算处理方案^[4], 在多通道实时分选方面保证了算法的可执行性。本文研究的西瓜子图像分类算法及实现方法对于带纵向条纹的瓜子物料的分选具有很好的参考价值。

1 目标物料描述及图像获取

1.1 对象描述

本文以产自甘肃会宁的新疆圆片西瓜子(表面中心有白色区域)为研究对象, 通过统计瓜子原粮的表面特征, 将瓜子分为: 正常瓜子、刀疤、烂瓜子、扭曲、半瓣头、白皮、白片、小颗粒等 8 种不同类型的瓜子, 如下图 1 所示。八类瓜子的定义为: 正常瓜子表面平整, 无翘弯, 无凹槽, 无花斑, 无白片; 刀疤瓜子具有正常瓜子的特征, 但外壳表面有刀痕状裂纹; 烂瓜子表面不光滑而且色泽暗淡, 瓜子颜色呈现灰白相间, 但有瓜子的形态; 扭曲瓜子有明显或相对明显的扭曲, 弯翘形态; 半瓣头瓜子的上下两部分一部分呈现黑色, 而另一部分呈现白色; 白片具有瓜子的形状, 但色黄或白, 质量比同型瓜子略轻, 而且轮廓边缘是黑色; 白皮瓜子是不成形的瓜子, 质轻, 整个表面呈现乳白色; 小颗粒面积小而且表面的黑色占据了很大一部分^[1]。本课题研究的目标是通过对瓜子图像进行处理、提取特征值, 最终分拣出如图 1 中①所示的正常瓜子。



图 1 八类西瓜子示意图

Fig.1 Sketch map of the eight categories watermelon seeds

收稿日期: 2011-01-23 修订日期: 2011-03-30

基金项目: 安徽省自然科学基金(11040606M123); 安徽高校省级自然科学重点项目(KJ2011A012); 安徽大学研究生学术创新研究项目(yqh090081)。作者简介: 赵吉文(1973-), 男, 汉族, 安徽砀山人, 副教授, 博士后, 硕士生导师, 主要从事光电检测技术研究。合肥 安徽大学电气工程与自动化学院, 230011。Email: ustczjw@ustc.edu.cn

1.2 现场图像采集

为了保证本课题研究算法的可靠性，算法的验证图像均采自 CCD 杂粮色选机（型号：HS-010284CCD，生产厂家：安徽宏实光电高科有限公司，主要参数：通道数为 84，其中 63 个通道用于一次分选，21 个通道用于二次分选）。如图 2 所示。

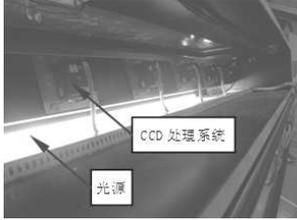


图 2 线阵 CCD 杂粮色选机采集处理系统

Fig.2 Linear array CCD cereal color sorter acquisition and processing system

图 2 中的 CCD 采用大规模 FPGA 并行处理技术，实现 CCD 驱动、信号采集、预处理、分类计算、控制信号输出一体化完成。完全摒弃了传统的线阵 CCD、PCI 卡、工控机^[5]分体集成的方案，实现并行处理^[6]。照明系统采用高频日光灯照明（功率：80 W，频率：2 kHz，光通量： 9×10^4 lm）。通过振动器自动喂料，图像经一体化 CCD 系统处理之后，直接输出开阀信号驱动电磁阀控制气枪将非正常瓜子吹出。

2 图像预处理算法

2.1 自适应直方图均衡化与中值滤波

灰度直方图的含义：数字图像中各灰度级与其出现的频数间的统计关系，如下式：

$$P_f(f_k) = \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (1)$$

且 $\sum_{k=0}^{L-1} P_f(f_k) = 1$ 。其中， f_k 为图像的第 k 级灰度值，

n_k 是图像中灰度值为 f_k 的像素个数， n 是图像的总像素个数， L 是灰度级数。

直方图均衡化（直方图平坦化）是将已知灰度概率密度分布的图像经过一系列变换，转化成具有均匀灰度概率密度分布的新图像^[7]。其结果是增加了像素灰度值的动态范围，从而使图像整体对比度增强。使图像变得更清晰。

这里用 f 表示输入图像中像素的灰度， g 表示输出灰度。变换式为 $g=T(f)$ ，其中 T 是单值单调函数。其中 $f, g \in [0, 255]$ 。 $P_f(f)$ 、 $P_g(g)$ 分别表示输入输出图像的概率密度函数。无论运算的形式如何变化，在点运算中，图像处理前后的大小是不会变化的^[8]。因此输出图像中落入 $[g, g+\Delta g]$ 区域的像素数必然等于输入图像中落在 $[f, f+\Delta f]$ 区域的所有像素数。即

$$\int_g^{g+\Delta g} P_g(\omega) d\omega = \int_f^{f+\Delta f} P_f(\beta) d\beta \quad (2)$$

其中， β 表示输入图像中像素的灰度的积分变量， ω 表示输出图像中像素的灰度的积分变量。且

$$\int_{g_{\min}}^g P_g(\omega) d\omega = \int_{f_{\min}}^f P_f(\beta) d\beta \quad (3)$$

式中 $f \in [f_{\min}, f_{\max}]$, $g \in [g_{\min}, g_{\max}]$ 。

令

$$C(f) = \int_{f_{\min}}^f P_g(\omega) d\omega \quad (4)$$

$C(f)$ 为累积分布函数，离散化可得到离散灰度图像的累积分布函数 $C(f_k)$ ，用累加直方图来近似表示为

$$C(f_k) = \sum_{i=0}^k P_f(f_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}, k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (5)$$

其中， f_i 为图像的第 i 级灰度值， n_i 是图像中灰度值为 f_i 的像素个数， n 是图像的总像素个数， L 是灰度级数。直方图均衡化目的就是希望输出图像的概率密度函数是均匀分布的，从而增强图像整体对比度，即

$$P_g = \frac{1}{g_{\max} - g_{\min}}, g_{\min} \leq g \leq g_{\max} \quad (6)$$

通过该变换可以使输出图像直方图成为近似均匀的分布，并且像素灰度值的动态范围得到增加。实际图像与期望输出的关系为：

$$\int_{g_{\min}}^g \frac{1}{g_{\max} - g_{\min}} dw = C(f) \quad (7)$$

化简即可得：

$$g = [g_{\max} - g_{\min}] C(f) + g_{\min} \quad (8)$$

求出 g 与 $C(f)$ 之间的转移函数是让 $P_f(f)$ 转换成具有不同形式 $P_g(g)$ 的前提。而式 (8) 就是在输入输出图像直方图分析基础上得出的输入输出灰度级映射关系^[4]。

直方图均衡化的计算过程如下：

- 1) 列出原始图像的灰度级， $f_k, k = 0, 1, \dots, L-1$ ；
- 2) 统计各灰度级的像素数目， $n_k, k = 0, 1, \dots, L-1$ ；
- 3) 由 (1) 式计算原始图像直方图各灰度级的频数；
- 4) 由 (5) 式计算累积分布函数；
- 5) 由 (8) 式计算映射后的输出图像的灰度级， P 为输出图像灰度级的个数， $g_j = INT[g + 0.5], j = 1, \dots, P-1$ ；
- 6) 统计映射后各灰度级的像素数目， $n_j, j = 0, 1, \dots, P-1$ ；
- 7) 由 (1) 式计算输出直方图各灰度级的频数，

$$P_g(g_j) = \frac{n_j}{n}, j = 0, 1, \dots, P-1;$$

8) 用 f_k 和 g_j 的映射关系修改原始图像的灰度级，从而可以获得直方图近似为均匀分布的输出图像。

直方图反映了图像的清晰程度，当直方图均匀分布时，图像最清晰。由此，通过直方图均衡化可以使西瓜子图像变清晰。因为在对瓜子图像进行图像增强时，着重对瓜子所在区域进行均衡化，为此只需对瓜子图像中的一个小区域进行均衡化操作，称之为切片^[9]，则切片的对比度将会加强^[10]。这样，就可以使输出区域的直方图

与指定的直方图相匹配。

在对瓜子图像进行对比度自适应的直方图均衡化后，再对瓜子的二值图像进行中值滤波。中值滤波器是一种非线性的空间滤波器，属于统计滤波器。统计滤波器的响应是由图像滤波器所包围的图像区域中像素的排列所决定的，然后根据统计排序结果得到的值代替中心像素的值。由于中值滤波器是用邻域内像素灰度的中值来代替该像素的值，因此具有一种很好的去噪能力，处理后的模糊程度明显要低于小尺寸的线性平滑滤波器，而且具有很好的边缘保护能力^[11]。中值滤波的计算公式如下：

$$\hat{f}(x, y) = \underset{(s,t) \in S_{xy}}{\text{median}}\{g(s,t)\} \quad (9)$$

其中， x 和 y 分别为原始图像像素的横坐标和纵坐标； $g(s,t)$ 为中值滤波处理后图像， s 和 t 分别为处理后图像像素的横坐标和纵坐标， S_{xy} 为模板窗口。

2.2 预处理算法实现

以正常瓜子为例，首先将灰度图像进行高斯滤波去噪，去除污点小区域，然后对去噪后的灰度图像进行对比度自适应直方图均衡化^[12]，对自适应均衡化^[13]后的图像进行二值化处理，再将处理后的图像进行中值滤波^[11]。去噪后的灰度图像、对比度自适应均衡化后图像、均衡化后再二值化图像、二值化后再中值滤波图像分别如图 3a, b, c, d 所示。为了检验对比度自适应直方图均衡化后图像对后续处理的影响，做了直接二值化、均衡化后二值化图像的处理对比，如图 3e, f 所示，瓜子图像预处理试验结果分析：由如图 3a, b 可以看出，对比度自适应直方图均衡化后图像的对亮度明显有了提高，而且图像的亮度也有所提高，达到了图像增强的目的。由如图 3c, d 可以看出，对二值化图像再进行中值滤波以后，图像的轮廓噪声得到了抑制，边缘光滑了许多。可见中值滤波即能抑制随机噪声又能保护图像的边缘。由如图 3e, f 可以看出，直接二值化后的瓜子图像的中部白色区域与实际的白色区域差别很大，不利于准确求出灰度带比例。而经过均衡化后再进行二值化处理以后，中部白色区域明显与实际的更接近。经过以上处理以后，一个比较切合实际的二值化图像就可以得到了。再对图 3d 中值滤波以后的二值化图像取反。储存中值滤波以后的二值化图像以及取反后的二值化图像，为下文提取瓜子图像的灰度带比例所用。

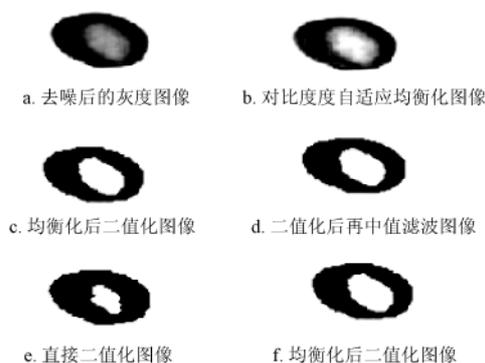


图 3 预处理算法对应的图像

Fig.3 Corresponding image with pre-processing algorithm

3 灰度带比例算法及实现

特征的提取直接决定了瓜子分拣的准确性，在整个瓜子分选中起决定性作用。将灰度带比例的定义用符号表示如下：先用 canny 算子法来提取正常瓜子的轮廓^[14]，如图 4 所示，将外轮廓线所包围的区域面积定义为单颗瓜子图像面积，记为 S 。内外轮廓线所围成的环形区域的面积定义为周围黑色区域的面积，记为 $S1$ 。内轮廓线所包围的区域面积定义为中部灰白区域的面积，记为 $S2$ 。灰度带比例的值定义为单颗瓜子图像中部灰白区域面积与周围黑色区域面积的比值，记为 K ，即 $K=S2/S1$ 。



图 4 瓜子图像的轮廓

Fig.4 Profile of seeds image

将去噪后的灰度图像经对比度自适应的直方图均衡化、二值化、中值滤波处理之后，还需通过计算面积来得到相应的灰度带比例值。灰度带比例提取的流程图如图 5 所示，特征值提取中的面积计算采用边界跟踪来获得目标区域的轮廓点，同时获得各轮廓点的跟踪方向信息，并根据其跟踪方向信息来判断各轮廓点的状态，以便计算轮廓内像素总数之用。将边界点数目的一半以及所有的边界内像素点累加求和再乘以像素当量（像素当量为 1），即可计算出目标区域的面积^[15]。在瓜子图像已经进行预处理并被分割成小区域的基础上，为了求出瓜子的面积，先将瓜子图像进行二值化。然后取反，将瓜子所在的区域以洞填充，即将整个瓜子轮廓内部用白色像素点填充。再对以洞填充后的二值图像取反，统计黑色像素的个数即可以求出一个瓜子的面积 S ，如图 6 所示。

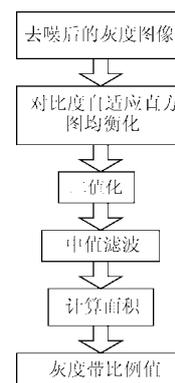


图 5 灰度带比例提取的流程图

Fig.5 Flow chart of gray scale extracting

求取灰度带比例值的方法如下：

- 1) 先求出图 3d 中值滤波后的二值化图像的面积 $S1$ ，也就是瓜子图像周围黑色区域面积。再将二值化以后的图像取反并以洞填充，如图 6a 所示。
- 2) 将以洞填充后的瓜子图像再取反，如图 6b 所示。
- 3) 以中值滤波后的二值化图像减去取反以后的图像

就可得到瓜子中部灰白色区域图像，如图 6c 所示。

4) 图 6c 取反，如图 6d 所示。求出其面积 S_2 ，也就是瓜子中部灰白区域的面积，从而灰度带比例的值 $K=S_2/S_1$ 。

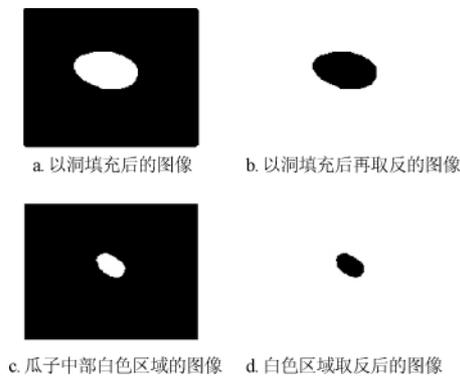


图 6 灰度带比例提取步骤对应的图像

Fig.6 Images in gray scale extracting process

4 试验验证

4.1 各类西瓜子特征值的提取与训练

将上述算法采用 VHDL 逻辑语言进行描述，移植到以 FPGA 为核心的 CCD 杂粮色选机上，在大量试验的基础上进行灰度带比例的训练。结果如表 1。

表 1 不同瓜子的灰度带比例训练结果
Table1 Training results of gray-scale of different seeds

瓜子类别	灰度带比例值范围
正常瓜子	0.21~0.37
刀疤瓜子	0.43~0.92
烂瓜子	0.12~0.18
扭曲瓜子(高度扭曲)	0.43~0.61
半瓣头瓜子、白片瓜子	0.67~4.00
白皮瓜子	5.67~99.00
小颗粒瓜子	0~0.099

表 1 数据表明，8 种类型的西瓜子的灰度带比例值有较大的差异。非正常瓜子与正常瓜子的灰度带比例值差别比较大，可以根据此特征值来分类识别出非正常瓜子与正常瓜子。尽管有若干种非正常瓜子的灰度带比例值范围相互重叠，但所有类型的非正常瓜子的灰度带比例值范围均不与正常瓜子的重叠，因此不影响正常瓜子与非正常瓜子整体上的区分。对于扭曲瓜子，如果扭曲程度不高时，灰度带比例值与正常瓜子的一样，此时不能识别出其是正常瓜子还是问题瓜子，需要采用其他方法实现^[3]，但是，扭曲程度不高的瓜子在生产中可以当作正常瓜子看待。在瓜子分选中，提取灰度带比例值之后，判断该比值是否落入正常瓜子的灰度带比例值范围之内，如果落入此范围，则不给出气枪打开信号，否则输出开阀信号驱动电磁阀控制气枪将非正常瓜子吹出。

4.2 西瓜子分选精度的测试

取 12 kg 瓜子原粮作为测试样本，在如图 2 所示的 CCD 色选机上对目标西瓜子原粮进行实际分选。采用高

精度 2048 像素线扫描 CCD 数字相机。瓜子的下滑速度为 3.9 m/s。动态采集西瓜子的 CCD 落料图像(图像采集频率为 8 kHz)，再对落料图像进行预处理，提取各瓜子的灰度带比例值，根据训练后的灰度带比例参考值识别出各类瓜子，检验算法的分选精度。试验测试每小时分选产量为 1.2 t(即识别效率为：1 200 kg/3 600 s=0.33 kg/s)，测试结果如表 2。

表 2 测试样本分选结果
Table 2 Sorting results of test samples

瓜子总质量/kg	识别质量/kg	误识质量/kg	识别率/%	误识率/%	识别效率/(kg·s ⁻¹)
12	11.40	0.60	95	5	0.33

其中，识别率是指正确识别出来的正常瓜子质量和非正常瓜子质量之和占瓜子原粮总质量的比率，误识率是指错误识别出来的正常瓜子质量和非正常瓜子质量之和占瓜子原粮总质量的比率。由于算法的实现是在 FPGA 上通过硬件实现，可以并行运算，能够满足实时分选的要求。

5 结论

1) 本课题以西瓜子这种扁平物体为研究对象，根据西瓜子的自身特点，通过对现场动态图像的预处理、设计了基于灰度带比例的特征值提取算法，试验验证了其可行性，并成功运用于西瓜子 CCD 杂粮色选机中。识别率达到 95%。

2) 基于灰度带比例的特征值提取算法还不能完全精确地识别出扭曲瓜子。为了达到能够识别西瓜子所有类型的目的，还需要进一步完善分拣系统接料的准确率。

3) 由验证试验可知，本文提出的分选方法的识别效率为 0.33 kg/s。在识别率为 95%的情况下，分选效率要远远高于手工分拣效率。该方法为同类性质的物料分选提供了一种高效可行的思路。

[参考文献]

- [1] 周一红. 西瓜子智能识别系统核心技术与实现[D]. 苏州: 苏州大学, 2007.
Zhou Yihong. Research and Application on Core Technology for Intelligent Recognition System of Watermelon Seeds[D]. SuZhou: SuZhou University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [2] Sun Yong, Guan Miao, Yu Daoqin. Researches and application of algorithm on core characteristic extraction for auto-separating system of watermelon seeds[C]. Image and Graphics(ICIG), 2007 Fourth International Conference on, China: Sichuan, 2007: 552-557.
- [3] 李昊宇, 李伟, 徐小波. 基于光度立体法的翘板黑瓜子识别方法研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 159-163.
Li Haoyu, Li Wei, Xu Xiaobao. Method for identification of wrinkled black melon seeds using photometric stereo[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(5): 159-163. (in Chinese with English abstract)

- [4] Yuan Pao Hsu, Hsiao Chun Miao, Ching Chih Tsai. FPGA implementation of a real-time image tracking system[C]// Proceedings of SICE Annual Conference 2010, China: Taipei, 2010: 2878—2884.
- [5] Xu Guosheng. The study on real-time data processing based on ccd scanning and detecting device on FPGA[C]//IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, China: Shanghai, 2009, 3: 81—84.
- [6] 刘德瑞. 基于 CCD 的高速色选机光机系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
Liu Derui. Research of Optical and Mechanical System of High Speed Color Sorter Based on CCD[D]. TianJin: TianJin University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [7] Kwok N M, Jia X, Wang D, Chen S Y, et al. Image contrast enhancement based on histogram smoothing and continuous intensity relocation[C]//Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd International Congress on, China: Yantai, 2010, 2: 1—5.
- [8] Taekyung, Kim, Joonki Paik. Adaptive contrast enhancement using gain-controllable clipped histogram equalization[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008, 54(4): 1803—1810.
- [9] Sengee N, Sengee A, Heung-Kook Choi. Image contrast enhancement using bi-histogram equalization with neighborhood metrics[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2727—2734.
- [10] Chen Hee Ooi, Mat Isa, N A. Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2552—2559.
- [11] Akkoul S, Ledee R, Leconge R, et al. A new adaptive switching median filter[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2010, 17(6): 587—590.
- [12] Gyu Hee Park, Hya-Hyun Cho, Myung-Ryul Choi. A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008, 54(4): 1981—1987.
- [13] Zhang Qinghui, Zhang Xiangfei. Research of Key Algorithm in the Technology of Fingerprint Identification[C]//IEEE Second International Conference on Computer Modeling and Simulation, China: Hainan, 2010, 4: 282—284.
- [14] Wang Xiao, Xue Hui. An improved canny edge detection algorithm based on predisposal method for image corrupted by gaussian noise[C]//Image Processing, IEEE Transactions on, World Automation Congress (WAC), Japan: Kobe, 2010: 113—116.
- [15] 洪英, 党宏社, 宋晋国. 基于图像处理的不规则形体表面积测量方法[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(19): 1679—1681.
Hong Ying, Dang Hongshe, Song Jinguo. Method for irregular solid surface area measurement based on image processing[J]. Computer Measurement and Control, 2009, 17(19): 1679—1681. (in Chinese with English abstract)

Research and implementation of recognition algorithm based on gray scale of watermelon seeds

Zhao Jiwen, Wei Zhengcui, Wang Yang, Gao Shang

(School of Electrical Engineering and Automation, Anhui University, Hefei, 230011, China)

Abstract: In order to sort the normal watermelon seeds, according to the characteristics of watermelon seeds, a feature extraction algorithm based on the gray scale was proposed, and its verification tests was carried out on a CCD color sorter. In the seeds image pre-processing, the contrast adaptive histogram equalization of the seeds image was executed. Then, after the median filter of the histogram equalization images, the value of the gray scale of the watermelon seeds was extracted as the classification characteristic quantity. The classification characteristic quantity was trained on the CCD color sorter, and the normal seeds were picked out finally with 95% recognition rate. The algorithm can provide theoretical support and technical realization for the classification and recognition of watermelon seeds.

Key words: algorithms, classification, image processing, gray scale, histogram equalization, median filter, CCD color sorter, watermelon seeds