

基于机器视觉的果肉多类型异物识别方法

全燕鸣, 黎淑梅, 成喜春, 林子其

(华南理工大学机械与汽车工程学院, 广州 510641)

摘 要: 该文基于机器视觉技术对果冻、罐头灌装前的多品种、多规格、湿态反光果肉进行多类型异物自动检测。根据果肉与异物的颜色和亮度差异大小, 提出了对高饱和度彩色果肉采用基于 HSI 三分量独立性的彩色图像分割算法, 对低饱和度彩色果肉采用以形态学边缘检测算法为核心的异物识别图像处理路线。然后采用图像分区, 各区域独立计数判断有无异物的策略。对上述路线和策略, 分别给出具体流程和算法, 最后编程实现, 并通过试验验证。试验结果表明, 该方法能够有效地检测出多品种湿态块状果肉上的多类型异物, 误检率小于 5%, 能满足实时生产检测准确性要求。

关键词: 机器视觉, 果肉异物检测, HSI 模型, 形态学边缘检测

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.031

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0162-05

全燕鸣, 黎淑梅, 成喜春, 等. 基于机器视觉的果肉多类型异物识别方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 162—166.
Quan Yanming, Li Shumei, Cheng Xichun, et al. Detection technology for recognizing multi-type foreign bodies from fruit flesh based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 162—166. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

水果果肉常用作罐头、果冻等食品的原料, 在其加工过程中经常会不经意地混入诸如毛发、纤维丝、纸屑、金属、油漆等异物, 对产品质量和消费者心理造成不良影响。目前, 食品加工企业对水果果肉异物仍采用人工肉眼检测, 不可避免地存在诸如效率低、漏检率高、劳动量大等缺点。

随着机器视觉技术的发展及其软硬件成本的下降, 利用机器视觉技术对农产品质量和食品加工质量进行自动检测的研究和应用逐渐增多。例如, 应义斌等曾以表面色泽与固酸比为柑橘成熟度指标, 利用机器视觉技术对柑橘成熟度进行了研究^[1]; 张峰等利用图像处理技术选取似圆度、体积和颜色为特征对苹果外观质量进行了检测^[2]; 展慧等根据板栗的颜色和纹理对其进行了基于机器视觉的分级检测^[3]; Ingrid P 等利用数字图像处理的傅里叶展开式描绘了苹果新品种的形状特征^[4]; Blasco 提出一种新的面向区域的图像分割算法进行柑橘表皮缺陷的检测^[5]; Naoshi 设计了根据果体的形状、大小和表皮缺陷为特征的水果自动分级系统^[6]。这些研究主要针对完整且表面相对干燥的果体进行大小、形状、面积、成熟度、表面损伤与缺陷等的检测与分级。在异物检测方面, 已有一些以液体和干燥不反光物为对象的研究文献。例如, 张辉等开发了一套基于机器视觉的保健酒可见异物检测系统^[7]; Ronghua 和 Qu 等开展了利用机器视觉自动识别棉花上的

纤维异物研究^[8-9]。但是至今很少有对湿态果肉异物的自动检测研究。蔡晋辉等应用机器视觉系统对罐装输送带上铺开的桔瓣进行异物检测, 根据 RGB 空间中输送带等背景的蓝色分量高于桔瓣及杂质而分离背景, 再用二值面积重构算子提取杂质, 但其分析目标只限于头发等细长形异物^[10]。本文作者所在研究组开展了面向多品种、多规格、表面含水反光的水果果肉多类型异物在线检测技术开发^[11-13], 本文着重研究其中的异物识别图像处理算法。

1 果肉图像特征分析

为了方便灌装, 果肉一般分割成块状, 但由于各品种果肉大小不同, 分割成块状的形状和大小也不同, 没有标准的尺寸, 而异物形状、大小也多样, 如毛发、纤维丝为细长型, 油漆、金属屑等为块状。果肉颜色多种多样, 异物颜色也是如此, 如尘渣和头发呈黑色, 油漆片和纤维丝多为黄、蓝或红色, 铁屑则可能银白闪亮或为铁锈色。各种异物和果肉之间的尺度、色度差异情况很不相同, 仅一种图像处理分析算法难以满足其异物提取与识别要求。

头发、纤维等异物宽度约为 0.1 mm, 对检测精度要求高, 即便高分辨率摄像, 其成像像素也很少, 颜色容易受果肉颜色漫射的干扰; 有些水果如菠萝、桔瓣表面不平整, 易产生阴影且存在黑点、瓣丝等干扰, 与细小异物不易分辨。如果软件算法约束条件比较宽松, 容易造成干扰区域迅速增长而造成误判; 若约束条件比较严格, 则难以提取异物特征而造成漏判。

本文根据果肉和异物的颜色特性, 把果肉分成两大类分开进行异物提取与识别。一类是高饱和度彩色果肉, 如黄桃果肉、菠萝果肉等, 其特点是颜色比较丰富, 与异物色度差异较小, 异物不突出, 如图 1a 所示。另一类是低饱和度果肉, 如椰果、明胶等, 这类果肉与输送带

收稿日期: 2010-07-12 修订日期: 2011-01-10

基金项目: 广东省企业技术创新项目: 果肉的自动分拣投料及异物在线检测剔除设备的研制和产业化 (B01B2061180)

作者简介: 全燕鸣 (1957—), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 制造过程及产品的自动检测技术。广州 华南理工大学机械与汽车工程学院, 510641。Email: meymquan@scut.edu.cn

背景颜色、亮度比较接近，异物比较突出，如图 1b 所示。

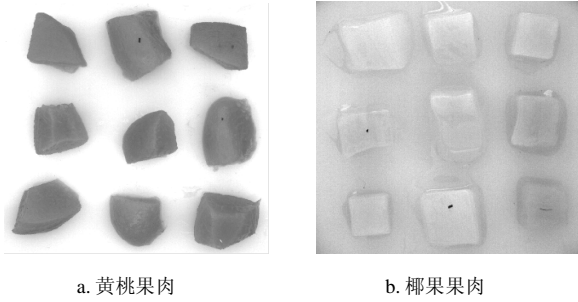


图 1 高饱和度彩色果肉和低饱和度果肉比较
Fig.1 High-saturation color fruit material and relatively low-saturation color fruit flesh

2 图像处理方法

2.1 高饱和度彩色果肉的异物识别

由于高饱和度彩色果肉颜色丰富，与异物色度差异

较小，且同一品种的水果其色调和饱和度分布规律不会随着果肉大小、表面颜色和图像采集位置等不同试验因素的变化而明显变化^[14]，对这类果肉宜采用彩色图像分割算法识别异物。

在众多的颜色模型中，HSI 模型用颜色波长 H 、颜色饱和度 S 、亮度 I 3 参数描述颜色特性，其中亮度分量 I 与图像的彩色信息无关，而色调 H 和饱和度 S 分量反映色彩本质特性，但两者概念相互独立。因此， H 、 S 、 I 3 个分量之间的相关性要比 R 、 G 、 B 3 个分量之间小得多。这种独特的优点使 HSI 模型成为彩色图像处理最常用的模型^[15]。在低饱和度区域色调 H 不连续，会产生跳变，所以利用饱和度 S 参数来区分高饱和区和低饱和区。在高饱和区参数 S 值比较大， H 值量化细，则采用色调 H 进行处理。在低饱和度区， H 值量化粗，无法直接分割，但比较接近灰度区域，则采用 I 参数进行分割^[16]。

根据 HSI 模型的这些特点，本文提出了一套基于 HSI 三分量独立性提取异物的彩色图像分割算法，其流程见图 2。

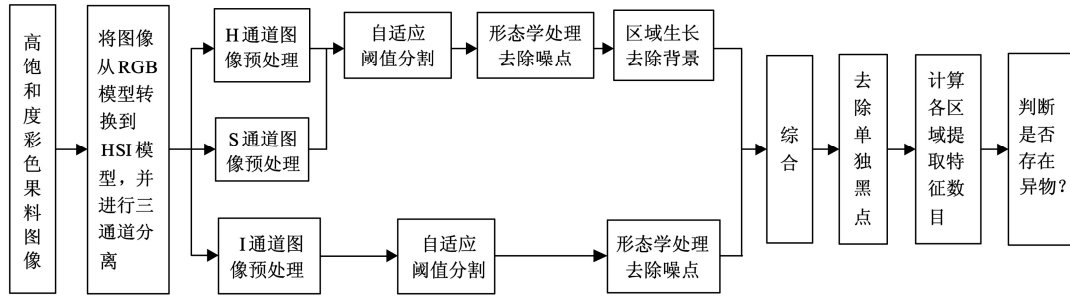


图 2 高饱和度彩色果肉异物识别算法流程
Fig.2 Algorithm process for recognizing foreign matter from high-saturation fruit flesh

1) 颜色模型转换。彩色 CCD 系统以 RGB 颜色模型为标准模型，需将 CCD 相机采集的高饱和度果肉图像从 RGB 模型转换到 HSI 模型，其转换公式如下

$$I = (R + G + B) / 3 \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \quad (2)$$

$$H = \arccos \left[\frac{(R - G) + (R - B)}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right] \quad (3)$$

其中： H 的计算与 $G - B$ 有关，当 $G \geq B$ 时， H 值为 $0 \sim 180^\circ$ ，当 $G < B$ 时， H 值为 $360^\circ - H$ 。当 $S = 0$ 时，对应无色，这时 H 没有意义，当 $I = 0$ 或 $I = 1$ 时， S 也没有意义。

2) 三分量图像预处理。在获取图像的过程中，由于外界的光线、输送带上的干扰点等因素影响，获得的图像包含噪声，需要对各通道的图像进行平滑滤波，去除噪声。经过多次试验对比均值滤波、空域低通滤波等方法之后，综合考虑时间与效果，选择中值滤波进行图像预处理。采用二维 3×3 的窗口模板进行滤波，可有效地去除干扰点，便于后面的特征提取与识别。

3) 自适应阈值分割。每帧图像中输送带背景、果肉及异物三者之间在色调、亮度方面有明显的区别，可采用阈值分割算法将其分成不同的区域，以简化图像。

基于最小二乘法原理的最大类间方差法是一种有效的自适应的阈值确定方法^[17]。其基本思路是当被分成背景和目标的两部分方差为最大时，便得到阈值。因为方差是灰度分布均匀性的一种量度，方差值越大，说明构成图像的两部分差别越大，当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标时，都会导致两部分差别变小，因此使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。具体过程如下。

设一幅图像的灰度值为 $0, 1, \dots, L-1$ 共 m 个灰度级，灰度级为 i 的像素点个数为 n_i ，则图像的像素点的总数为：

$$N = \sum_{i=1}^m n_i, \text{ 各级灰度值的概率为: } p_i = n_i / N; \text{ 设用阈值}$$

k 将其分成 2 类： $C_0 = \{0 \sim k\}$ 和 $C_1 = \{k+1 \sim L-1\}$ ，则 C_0 类产生的概率为 $w_0 = \sum_{i=1}^k p_i = w(k)$ ； C_1 类产生的概率为

$$w_1 = \sum_{i=k+1}^m p_i = 1 - w(k); \text{ } C_0 \text{ 类的平均灰度为 } \mu_0 = \frac{\sum_{i=1}^k i p_i}{w_0} = \frac{\mu(k)}{w(k)},$$

C_1 类的平均灰度为 $\mu_1 = \frac{\sum_{i=k+1}^m i p_i}{w_1} = \frac{\mu - \mu(k)}{1 - w(k)}$ ，其中， $\mu = \sum_{i=1}^m i p_i$ 是整体图像的平均灰度， $\mu(k) = \sum_{i=1}^k i p_i$ 是阈值为 k 时的灰度平均值。则 C_0 类与 C_1 类之间的类间方差 σ^2 定义为

$$\begin{aligned}\sigma^2(k) &= w_0(\mu_0 - \mu)^2 + w_1(\mu_1 - \mu)^2 \\ &= w_0 w_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 = \frac{[\mu w(k) - \mu(k)]^2}{w(k)[1 - w(k)]}\end{aligned}\quad (4)$$

当 k 值从 1 至 m 之间遍历后, 使式 (4) 值最大的 k 为最佳分割阈值。

采用最大类间方差法分别对 H、S、I 三分量进行阈值分割。对色调 H 分量和饱和度 S 分量阈值分割时, 将图像中果肉部分设置成白色, 非果肉部分设置成黑色。对亮度 I 分量阈值分割时, 黑色异物和背景、果肉的灰度有较大差别, 则将异物设置成黑色, 非异物部分设置成白色。对图 1a 图像进行自适应阈值分割的处理效果如图 3 所示。

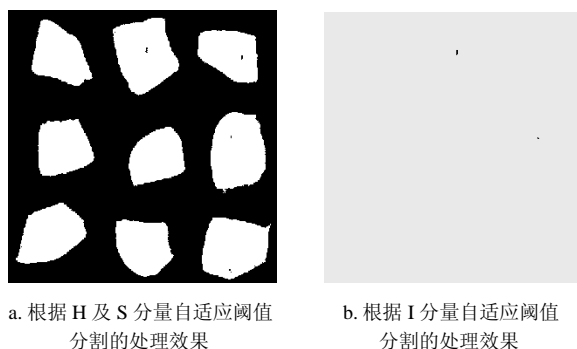


图 3 最大类间方差法自适应阈值分割效果

Fig.3 Results of adaptive threshold segmentation based on maximum between-cluster variance method

4) 形态学图像处理, 去除噪点。通过 HSI 颜色空间三分量的分割后的二值图像还会有一些噪点, 对后面的去除背景及提取异物造成干扰。经多次试验, 采用数学形态学的开操作可有效地去除噪点且不影响异物。

5) 去除背景。根据 H 及 S 分量阈值分割处理后的图像中果肉为白色, 背景为黑色, 而果肉中的异物也为黑色。为了方便提取异物, 需要将背景去除。本文采用区域生长算法去除图像背景。具体算法过程为:

Step1: 选取背景中的一个黑色像素点 (X_0, Y_0) 为种子点。

Step2: 对种子周围的像素点进行灰度值计算, 若该像素点与种子像素灰度值差的绝对值小于某个门限 T , 本文中 $T=0$, 则将该像素包括进种子像素所在区域。对图像中的像素点进行逐个扫描, 直到最后一个像素则停止全局生长。

Step3: 将生成出的区域中所有的像素点置为白色, 则图像中背景和果肉均为白色, 异物为黑色。

6) 将 H 及 S 分量处理结果图像和 I 分量处理结果图像进行像素级融合成一幅图像。经过以上算法处理后的图像中可能会存在单像素黑干扰点。为了避免将其误判为异物, 需将之去除。采用单像素扫描法, 如果扫描到存在黑像素点, 则计算该点的 8 邻域, 若其 8 邻域都是白像素点, 则认为该像素点为干扰点, 将其置为白点。

2.2 低饱和度彩色果肉异物识别

低饱和度彩色果肉的色彩饱和度很低, 采用彩色图

像处理方法, 结果不稳定, 故将其转换为灰度图像进行处理分析, 根据低饱和度彩色果肉图像特点, 本文提出以边缘检测为核心的算法识别异物, 其流程见图 4。

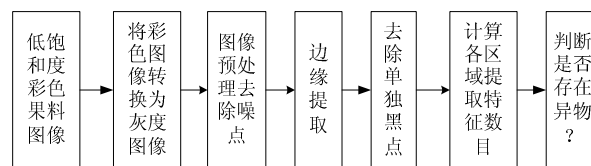


图 4 低饱和度彩色果肉异物识别算法流程

Fig.4 Algorithm process for recognizing foreign matter from low-saturation fruit flesh

图像在获取和传输过程中易受到和边缘点频率相近的噪声干扰, 使得提取出的图像边缘存在伪检测、漏检测等问题。传统的边缘检测方法如 Roberts 算子、Prewitt 算子、Canny 算子等, 普遍存在边缘定位和噪声平滑能力之间的矛盾, 在提取异物边缘时同时提取出很多果肉边缘。经典的形态学方法在边缘检测时可去除图像噪声, 但存在难以保留边缘细节的问题。

本文提出一种改进的基于多结构元素的形态学边缘检测算法, 利用大小不同的结构元素提取边缘特征。小尺寸的结构元素去噪能力弱, 但能检测到好的边缘细节; 大尺寸的结构元素去噪能力强, 但所检测的边缘较粗。具体算法流程为:

Step1: 用 7×7 的大尺寸结构元素对原图像进行开运算, 得到图像 P_1 ;

Step2: 用 3×3 的小尺寸结构元素对图像 P_1 进行闭运算, 得到图像 P_2 ;

Step3: 求 P_1 和 P_2 差值图像。

分别使用传统形态学和本文算法对图 1b 图像进行边缘提取, 效果见图 5。试验证明, 本文算法在准确检测出异物边缘的同时, 能够有效地去除图像中的噪声, 且运算量相对较小。

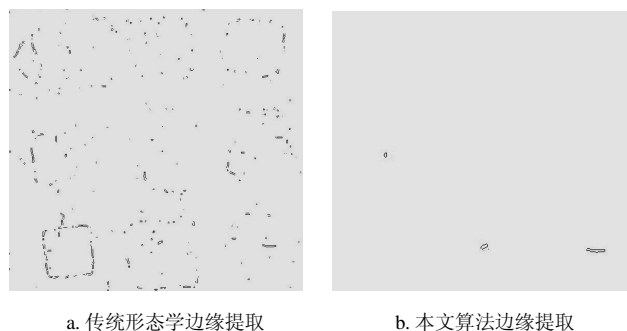


图 5 边缘提取效果比较

Fig.5 Result of edge detection based on different algorithm

2.3 果肉异物判断

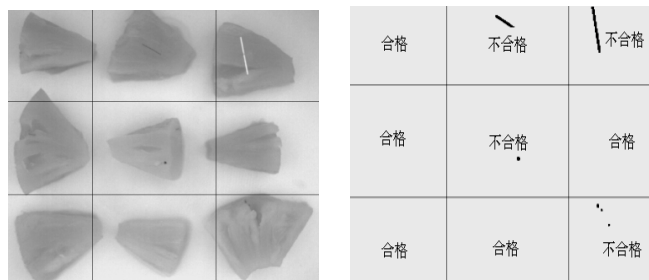
为了提高检测效率, 采集图像时根据相机镜头视场大小每次获取多行多列多个果肉的图像。根据每幅图像中果肉的行列数, 将每帧图像分成相应数量并彼此邻接的若干个区域, 每个区域对应一个果肉, 单独判断有无异物。对于高饱和度彩色果肉, 以每个区域内单个黑色

面积作为异物判据；对于低饱和度彩色果肉，以每个区域内检测到的单个形状边缘所围面积作为异物判据。当面积超过预设阈值时就认为这个区域存在异物，即判断这个果肉不合格。

3 试验结果与分析

在试验中，选取了多种果肉如椰果、菠萝、黄桃等为检测对象，在 VC++6.0 平台下根据本文算法编程进行图像处理与分析。图 6 和图 7 分别是对高饱和度彩色的菠萝果肉和低饱和度彩色的椰果果肉上的多类型异物如头发、油漆、黑渣、金属屑的检测结果显示。检测结果证明，即使所采集的果肉图像及处理结果中存在少量的噪点干扰，仍基本上不影响判断结果。经多次试验统计，对菠萝果肉上的异物判别准确率达到 95% 以上，椰果果肉上的异物判别准确率达到 98% 以上。造成少量误判的原因主要有：

- 1) 输送带上存在各种与输送带颜色不同的污染斑。
- 2) 果肉表面不平整，存在很多凹坑，在图像上形成阴影。
- 3) 果肉上存在各种毛刺未去除干净，如菠萝存在黑色毛刺，被判为是异物。

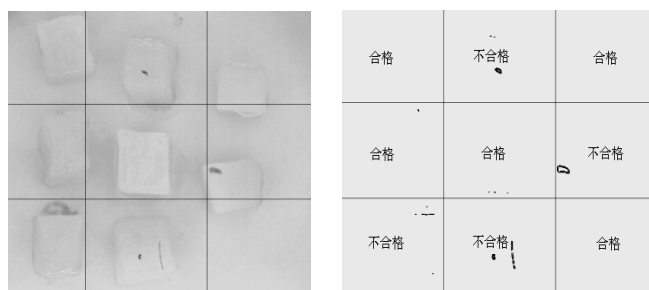


a. 菠萝果肉图像

b. 菠萝果肉可见异物检测结果

图 6 菠萝果肉异物检测

Fig.6 Foreign body detection on pineapple fruit flesh



a. 椰果果肉图像

b. 椰果果肉可见异物检测结果

图 7 椰果果肉异物检测

Fig.7 Foreign body detection on coconut fruit flesh

4 结 论

针对多品种、多规格、湿态反光果肉图像特点，根据果肉与异物的颜色和亮度差异大小，提出了不同的异物识别图像处理路线和分区判断有无异物的策略。对高饱和度彩色果肉采用基于 HSI 三分量独立性的彩色图像分割算法检测异物，以每个区域内单个黑色面积作为异

物判据判断异物的存在；对低饱和度彩色果肉采用以形态学边缘检测算法为核心的异物识别图像处理路线识别异物，以每个区域内检测到的单个形状边缘所围面积作为异物判据判断有无异物。试验结果表明，采用本文方法能够有效地检测出多品种湿态块状果肉上的多种异物，误检率小于 5%，能满足实时生产检测准确性要求，具有广泛的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 应义斌, 饶秀勤, 马俊福. 柑橘成熟度机器视觉无损检测方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 144—147.
Ying Yibin, Rao Xiuqin, Ma Junfu. Methodology for nondestructive in spection of citrus maturity with machine vision[J]. Transaction of the CSAE, 2004, 20(2): 144—147. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张峰, 张晓东, 赵冬玲, 等. 利用图像处理技术进行苹果外观质量检测[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(6): 96—99.
Zhang Feng, Zhang Xiaodong, Zhao Dongling, et al. External quality detection of apples using image processing technology[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(6): 96—99. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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]. Transaction of the CSAE, 2010, 26(4): 327—331. (in Chinese with English abstract)
- [4] Ingrid P, Eddie S. Shape characterization of new apple cultivars by flourier expansion of digitized images[J]. J Agric Engng Res, 1999, 72(2): 113—118.
- [5] Blasco J, Aleixos N, Molto' E. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81 (3): 535—543.
- [6] Naoshi, Kondo. Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21 (3): 145—15.
- [7] 张辉, 王耀南, 周博文, 等. 基于机器视觉的保健酒可见异物检测系统研究与开发[J]. 仪器仪表学报, 2009, 5(30): 973—979 .
Zhang Hui, Wang Yaonan, Zhou Bowen, et al. Development of healthy wine visible particle detection system based on machine vision[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 5(30): 973—979. (in Chinese with English abstract)
- [8] Ronghua Ji, Daoliang Li, Lairong Chen, et al. Classification and identification of foreign fibers in cotton on the basis of a support vector machine[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2010, 51(11/12): 1433—1437.
- [9] Qu Xin, Ding Tianhua. A fast feature extraction algorithm for detection of foreign fiber in lint cotton within a complex background[J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 6(36): 785—790.
- [10] 蔡晋辉, 周泽魁. 机器视觉系统在桔瓣质量检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 129—132.

- Cai Jinhui, Zhou Zekui. Application of machine vision inspection system for orange petal quality detection[J]. Transaction of the CSAE, 2004, 20(6): 129—132. (in Chinese with English abstract)
- [11] 全燕鸣, 全思博, 林子其, 等. 基于机器视觉的物料实时检测及异物剔除系统[P]. ZL 100710031866, 2009-12-9.
- [12] 林子其, 全燕鸣, 全思博, 等. 基于机器视觉的物料废料剔除系统[J]. 新技术新工艺, 2008(6): 9—11.
- [13] 全思博, 林子其. 基于机器视觉的果料异物自动检测系统光源设计[J]. 粮油加工, 2008(8): 120—123.
- [14] 冯斌, 汪懋华. 基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 141—144.
Feng Bin, Wang Maohua. Computer vision classification of fruit based on fractal color[J]. Transaction of the CSAE, 2002, 18(2): 141—144. (in Chinese with English abstract)
- [15] 章毓晋. 图像工程(上册)—图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 168—169.
- [16] 戴天虹, 王玉珏, 赵贝贝. 基于HSI三分量独立性木材缺陷图像分割[J]. 机电产品开发与创新, 2009, 22(6): 110—112.
Dai Tianhong, Wang Yujue, Zhao Beibei. Wood defect image segmentation based on HIS three independent characters[J]. Development and Innovation of Machinery and Electrical Products, 2009, 22(6): 110—112. (in Chinese with English abstract)
- [17] 齐丽娜, 张博, 王战凯. 最大类间方差法在图像处理中的应用[J]. 无线电工程, 2006, 36(7): 25—26.
Qi Lina, Zhang Bo, Wang Zhankai. Application of the OTSU method in image processing[J]. Radio Engineering, 2006, 36(7): 25—26. (in Chinese with English abstract)

Detection technology for recognizing multi-type foreign bodies from fruit flesh based on machine vision

Quan Yanming, Li Shumei, Cheng Xichun, Lin Ziqi

(School of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Based on machine vision, the wet fruit flesh of jelling with different kind and size can be inspected automatically for multi-type foreign bodies detection before filled into containers. According to the difference degree in color and brightness between fruit flesh and foreign bodies, two approaches of image processing for foreign bodies reorganization were put forwarded. For high-saturation color fruit flesh, a segmentation algorithm based on the independence of HSI three components was adopted. For low-saturation color fruit flesh, an edge detection algorithm on mathematical morphology was taken as the main means. Then the result images were divided into several regions according to the size of fruit flesh, and the judgment whether foreign bodies existed in each region was worked out. As for these approaches, the specific processes and programs were given and verified by experiments. The results show that the method can detect a variety of foreign bodies on wet fruit flesh with a high accuracy.

Key words: machine vision, fruit flesh, foreign body detection, HSI model, morphology edge detection