

基于显著性特征的食用菌中杂质检测

徐振驰¹ 纪磊¹ 刘晓荣¹ 周晓佳²

(浙江工商大学信息与电子工程学院 杭州 310018)¹

(浙江工商大学金融学院 杭州 310018)²

摘要 为了使用机器视觉实现对食用菌中发丝等杂质的自动检测,提出基于显著性特征的菌菇中杂质图像分割算法,该算法结合了 Hessian 灰度特征和 Lab 空间色彩特征,通过图像归一化、求 Hessian 矩阵、反向投影、取阈值分割出杂质图像。实验结果表明,该算法在光照不均匀条件下的识别率仍达到 99.6%,可以用于工业化生产。

关键词 机器视觉,黑塞矩阵,反向投影,杂质检测

中图分类号 TP311.51,TP312VC **文献标识码** A

Recognition of Impurities Based on their Distinguishing Feature in Mushrooms

XU Zhen-chi¹ JI Lei¹ LIU Xiao-rong¹ ZHOU Xiao-jia²

(School of Information & Electronic Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)¹

(School of Finance, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)²

Abstract In order to achieve automatic recognition of hair impurities in edible mushrooms industry, a fingerprint image segmentation method based on impurity's distinguishing feature in mushrooms was proposed in this paper. This algorithm segments the impurity's image through the way of the image normalization, taking the Hessian matrix back projection, taking the threshold and combining the Hessian grayscale characteristics and Lab color space. These experimental results show that it also performs well and recognition rate is up to 99.6% in the case of nonuniform lighting conditions, which can be used in industrial production.

Keywords Machine vision, Hessian matrix, Back projection, Impurity recognition

食用菌生产季节性强,企业在农产品上市季节需要对大量原材料进行及时加工。为了提高产品质量,食用菌加工生产线自动化的关键技术之一是食用菌半成品中的异物检测。目前常用的异物无损检测手段是 X 射线异物检测系统,它可用于金属、玻璃、石头等高密度异物的检测。然而, X 射线检测系统无法分辨与农产品密度接近的异物,如发丝、塑料薄膜等。对于农产品中的异物,尤其是 X 射线无法检测的异物,目前已有越来越多的企业采用机器视觉技术对其进行检测。

颜色和形状是农产品中异物图像识别的两大常用特征。陈文涛等^[1]采用 HSI 颜色模型,以色度为主要特征量,设定阈值,对烟草和异物的像素点进行判别,然后统计单元中异物像素点的比例,再进行二次判别;但烟草是干的,反光干扰少,实验中所用的异物面积较大(大于 10mm×10mm)。蔡晋辉等^[2]对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,其背景简单,且分析目标只限于头发等细长形异物。全燕鸣等^[3]采用基于 HSI 三分量独立性的彩色图像分割法对高饱和度彩色果肉检测异物,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方法,检测出传送带上的多品种湿态块状果肉上的多种异物,但是其背景简单且果肉排放规则。李国辉等^[4]采用 Gabor 滤波器提取方向特征以用于棉花中的异性纤维检测,但该方法由于

Gabor 算子提取方向特征的计算步骤复杂,难以用在实时检测中。为了达到更好的检测效果,往往需要将颜色与形状、亮度等信息综合。Heinemann 等^[5]结合形状与 HSI 值两方面的信息进行苹果质量检评。熊利荣等^[6]利用颜色特征参数和灰度阈值方法对图像进行分割提取,获得了较好的图像识别效果。

较上述农产品的异物检测,食用菌中杂质检测难度更大,其原因是:1)食用菌半成品中含大量水,导致反光干扰强烈;2)食用菌的排列不规则,且有大量阴影干扰。王秀萍等^[7]提出基于 Hessian 矩阵法的发丝异物检测,但该方法没有考虑颜色特征,而且只能检测发丝异物。本文提出一种基于显著性特征的食用菌加工过程在线异物图像检测方法。显著性特征包括 Hessian 特征和 Lab 空间色彩特征,它能有效地抑制菌菇背景,突出异物图像。本方法解决了表面湿润、形状自由的菌菇中异物图像检测的难题,对不同形状和颜色的杂质都具有良好的检测率。本方法采用 C 语言编程实现,具有速度快、准确度高的优点。经检测,本方法的杂质检测率达到 99.6%。

1 基于显著性特征的异物分割算法

1.1 灰度显著性特征

Hessian 矩阵^[7]是由一个多元函数的二阶偏导数构成的

徐振驰(1993-),男,主要研究方向为嵌入式及图像图形处理算法;纪磊(1994-),男,主要研究方向为嵌入式及图像图形处理算法。

纪磊(1994-),男,主要研究方向为嵌入式及图像图形处理算法;刘晓荣

方阵,描述了函数的局部曲率。本文采用 Hessian 矩阵法提取灰度显著性特征。

已知 $r(x, y)$ 表示原始二维图像的灰度值,该曲线在坐标系中的灰度变化可由局部特征方向函数 $n(t)$ 来表示,因此,通过对其进行求二阶偏导数以及引入 Hessian 矩阵来辅助求解该曲线结构的曲率变化。

$$H = \begin{bmatrix} r_{xx} & r_{xy} \\ r_{xy} & r_{yy} \end{bmatrix}$$

式中,该矩阵中 r_{xx}, r_{xy}, r_{yy} 为曲线结构 $r(x, y)$ 分别沿着 x 轴方向、 y 轴方向和 45° 方向求二阶偏导数所得。

设 $f(x, y)$ 是以灰度图像中 (x, y) 像素点为中心的微曲面,则 $f(x, y)$ 在 (x, y) 像素点的最大和最小曲率分别等于该点上计算的 Hessian 矩阵 H 的两个特征值的幅值。如式(1)所示,Hessian 矩阵 H 由微曲面 $f(x, y)$ 在 (x, y) 点上的二阶偏导 f_{xx} (x 方向)、 f_{yy} (y 方向)、以及 f_{xy} (45° 方向)组成。Hessian 矩阵的两个特征值 λ_1 和 λ_2 的计算分别如式(2)和式(3)所示。

$$H \begin{bmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{xy} & f_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\lambda_1 = \frac{(f_{xx} + f_{yy}) - \sqrt{(f_{xx} - f_{yy})^2 + 4f_{xy}^2}}{2} \quad (2)$$

$$\lambda_2 = \frac{(f_{xx} + f_{yy}) + \sqrt{(f_{xx} - f_{yy})^2 + 4f_{xy}^2}}{2} \quad (3)$$

表 1 Hessian 矩阵特征值对应的发丝图像

λ_1	λ_2	Magnitude	Surface shape
+	+	$ \lambda_2 > \lambda_1 $	碗底状谷 Dale
-	-	$ \lambda_2 < \lambda_1 $	山顶状峰 Hill
-	+	$ \lambda_2 > \lambda_1 $	马鞍状谷 Valley
-	+	$ \lambda_2 < \lambda_1 $	马鞍状脊 Ridge
+	-	$ \lambda_2 = \lambda_1 $	Zero crossing of the Laplacian
0	0	$ \lambda_2 = \lambda_1 $	平面 plain

严格地说,以发丝为例,发丝图像对应于马鞍状谷,但是图像难免有噪声,为了避免漏判,本文认为实际计算所得的两类谷点都有可能是发丝像素点,并应对这两种像素点作进一步分析。

1.2 彩色显著性特征

同批菌菇颜色类似,异物颜色则多种多样,如纤维丝多为蓝或红色,地膜多为黑色。根据菌菇和异物的颜色特性差异,采用彩色分割算法检测除发丝以外的其它自由形状的非细丝状异物。可用于图像处理的颜色空间主要有 RGB、HSV (HIS)、CMYK、XYZ、YUV 以及 $L^*a^*b^*$ 等颜色空间模式。异物图像的颜色复杂,难以用单一颜色进行描述,而 $L^*a^*b^*$ 颜色空间的 a 和 b 分量是对颜色范围的描述,其色彩空间要比 RGB 色彩空间大,能够影射 RGB 颜色空间所能描述的所有色彩信息。 $L^*a^*b^*$ 颜色空间是一种感官均匀的颜色模式,是与设备无关的一种颜色系统。在方法表达上, $L^*a^*b^*$ 颜色空间用数字化的方法来描述人的视觉感应。在表达色彩范围上, $L^*a^*b^*$ 颜色空间要优于 RGB 颜色空间。在 $L^*a^*b^*$ 颜色空间中,所有颜色信息都包含在 a^*b^* 二维空间中,我们采用基于 a^*b^* 二维空间反向投影^[8]的色彩显著性特征提取方法检测与菌菇颜色不同的异物,该方法基本上克服了颜色分割方法的缺点,具有较好的实时性和鲁棒性。

反向投影是一种记录图像中的像素点如何适应直方图模型像素分布的方式,用这种方式可以计算某一特征的直方图模型,然后使用该模型去寻找图像中存在的该特征。图像的反向投影图是用输入图像的某一位置上像素值(多维或灰度)对应于直方图的一个子区域上(称作 bin)的值来代替该像素值,所以得到的反向投影图是单通的。用统计学术语表达,即输出图像像素点的值是观测数组在某个分布(直方图)下的概率。

$$\alpha(x_i) = \sum_{n=1}^{m, \Lambda} q_n \delta [b(x_i) - u]$$

其中, $b(x_i)$ 表示在位置 x_i 上像素对应的直方图第 $b(x_i)$ 个 bin,直方图共 m 个 bin, q_n 表示第 n 个 bin 的值。使用统计学的语言, $\alpha(x_i)$ 中储存的数值代表了被测图像中符合特征的直方图那块区域的概率。将得到的概率值反向投影到给定的图像中,若某一区域的概率值远低于主概率值,则判定该区域对应为杂质。

1.3 基于显著性特征的分割算法

1.3.1 算法步骤

本文提出基于显著性特征的菌菇中杂质图像分割算法,该算法结合了 Hessian 灰度特征和 Lab 空间色彩特征,通过图像归一化、求 Hessian 矩阵、反向投影、取阈值分割出杂质图像。

算法步骤如下:

第一步 读入 8 位 RGB 原始图片,映射到 Lab 空间,取 L 通道,作零均化和归一化处理。

第二步 求零均化和归一化后的 L 分量中各个像素点的 Hessian 矩阵,代入式(2)和式(3)中计算出矩阵特征值。根据各点的矩阵特征值,结合改进的 SIFT 算法,求得自适应阈值。

第三步 根据第二步所得到的阈值,获得二值化图像,即 Hessian 矩阵灰度特征图像。

第四步 将 Lab 空间中的 a 分量和 b 分量分别取反向投影,并分别通过自适应阈值得到二值化图像,两者取“或”,即得到颜色特征图像。

第五步 将算法所得到的 Hessian 矩阵灰度特征图像和 Lab 空间颜色特征图像进行综合,通过逻辑求“或”运算,得到杂质的轮廓,算法结束。

1.3.2 阈值选取方法

在本文提出的算法中,自适应阈值的选取是一个十分关键的步骤,传统的阈值选取方法包括灰度自适应阈值法^[9](OSTU),而本文在灰度图像空间采用了改进的 SIFT 算法^[10]进行阈值的选取。SIFT 算法是一种电脑视觉的算法,用来检测与描述目标图像中的局部性特征,它在空间尺度随机选取 3×3 的像素空间,通过对比度差异和曲率阈值寻找极值点,并提取出其位置、尺度、旋转不变量,最后通过计算机自动计算出对比度阈值。改进的 SIFT 算法克服了原算法缺乏灵活性的特点,根据空间局部邻域的灰度信息来自动调整阈值。

在得到目标图像的灰度自适应阈值 δ_1 后,我们再通过反向投影取得目标图像色彩空间的自适应阈值 δ_2 ,将 δ_1 和 δ_2 做“或”运算,只要目标图像中某区域的阈值超过两个自适应阈值中的任意一个,即可判断该区域为杂质。

1.3.3 算法流程

算法流程如图1所示。

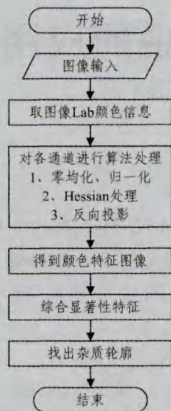


图1 算法流程

2 实验结果分析

2.1 实验条件

本文实验的图像采集设备由彩色 CCD 相机、固定支架、数据传输线、托盘以及 PC 机组成,光源型号为 HDL-160W 的圆顶灯,该光源的半球形灯罩有凹槽,内置 LED 灯,灯罩内壁涂有漫反射材料,形成漫射光照明。彩色 CCD 相机的型号是 HD-SV200FC,200 万像素(1628 像素×1236 像素);镜头是 Computar12~36mm,1:2.8,2/3",镜头与被检测物之间的垂直距离是 12cm,视野 5.50cm×4.15cm。采用上述设备,通过 C 语言编程,实现运行实时杂质检测程序。计算机以 5f/s 的速度连续采集蒸煮过的、有汁水的金针菇图像,并对其中是否含有发丝、塑料薄膜等杂质进行了自动检测。

2.1.1 显著性特征提取效果分析

本文算法提取的显著性特征能准确地反映菌菇中的杂质异物位置,如图2所示。

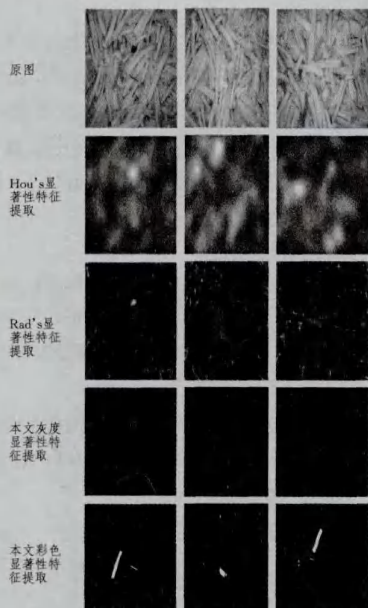


图2 显著性特征提取比较图

在现有的显著性特征提取方法中,如图2(Hou's)所示,Xiaodi Hou^[11]的算法只对与背景色对比十分明显的黑色产

生反应,可从第一列图中发现,原图中黑色杂质在该算法的结果图片中呈现高亮状态。而对其他两列非黑色杂质的图片,基本无识别效果,此算法无法滤出其他颜色杂质;如图2(Rad's)所示,Radhakrishna Achanta^[12]的算法只对特定颜色的杂质比较敏感,在图2的第一列和第二列图片中,其算法均能准确还原出黑色和白色的杂质,但从第三列图片中也明显发现,该算法无法识别其他颜色杂质。而对于本文所用的算法,从图2的灰度显著结果图中可以看出,其可以筛选出暗色杂质。同理,在彩色检测结果图中可以直观地看到,其能准确筛选出亮色杂质,这正是本算法提取显著性特征的优越处。

2.2 检测结果比较分析

选取在杂质识别方面较有代表性的灰度自适应阈值法与本文方法进行比较。

灰度自适应阈值法也称最大类间方差法^[9](OTSU),它是图像的灰度特性,将图像分成目标和背景两部分,目标和背景之间的类间方差越大,说明构成图像的两部分差别越大。该算法能够容易地推广到多阈值分割的情况,但是时间复杂度过大,算法执行时间过长。对比结果如图3所示。

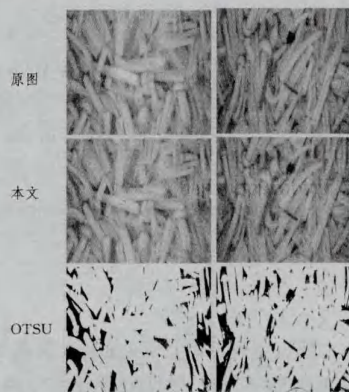


图3 算法比较结果图

从图3中可以明显看到,OTSU算法对与背景色对比强烈的色彩能识别,但对接近于背景色的杂质无法识别。而对于本文所提出的算法,即使杂质的颜色与背景色相接近,它仍然可以准确识别出杂质,这正是本文算法的优点所在。

结束语 本文提出了一种基于显著性特征的菌菇中杂质图像分割算法,该算法为了确定杂质的显著性特征引入了Hessian矩阵法和Lab空间的反向投影,这种方法突破了目前菌菇罐头工业自动化生产过程中发丝等低密度杂质只能依靠人工识别的局限,以期研制菌菇罐头等湿态农产品中发丝等低密度杂质的在线检测装备提供参考。实验表明,本文提出的算法的检测效果相比于其他识别方法有了极大的增强,能够较快较准确地查找出食用菌半成品中的杂质异物,识别结果的准确率高达99.6%。但是本文的算法依旧存在不足之处,在运行过程中检测速度未能跟上生产流水线的速度,而且目前该算法仅在湿态半成品食用菌中进行试验,下一步研究重点是提高算法的运行速度并将该算法推广到其他罐头中的异物检测。

参考文献

- [1] 陈文涛,陈杰,李志敏,等.烟草在线检测与异物剔除系统[J].光电工程,2003,30(5):51-54

(下转第217页)

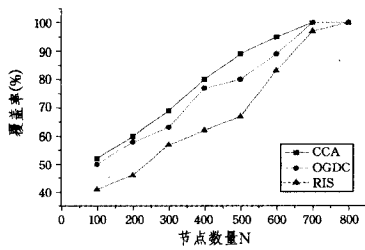


图3 网络覆盖率比较

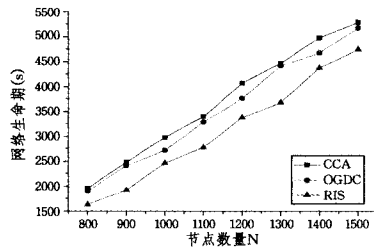


图4 网络生命周期比较

结束语 本文以水下无线传感器网络为背景,针对水下环境和水下传感器节点的特性,提出了一种基于顺序博弈的水下无线传感器网络的覆盖控制算法,运用顺序博弈理论对水下无线传感器网络的覆盖控制问题进行研究,通过建立博弈模型,设计了一种分布式的节点策略调整算法,根据节点自身和周围节点的情况,及时调整传感器节点的感知功率。仿真实验显示,本文提出的拓扑覆盖算法能够有效地优化网络的拓扑结构,均衡网络中节点的能量,延长网络的生命周期,适用于各种水下应用场景,并且能够针对各种场景的不同需求进行调整适应,可以为水下无线传感器网络的应用推广起到积极的参考意义。

参考文献

[1] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:138-153

[2] Heidemann J, Stojanovic M, Zorzi M. Underwater sensor networks: applications, advances and challenges[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2012, 370(1958): 158-175

[3] Gkikopoulou A, Nikolakopoulos G, Manesis S. A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications[C]//2012 20th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). Barcelona, Spain, July 2012

[4] Akyildiz I, Pompili D, Melodia T. Underwater Acoustic Sensor

Networks; Research Challenges[J]. Elsevier Ad hoc Networks, 2005, 3(3): 257-279

[5] 周莹. 水下无线传感器网络的研究和设计[D]. 西安:西安电子科技大学,2008

[6] Huang C F, Tseng Y C. The coverage problem in a wireless sensor network[C]//Proc. of the ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. New York: ACM Press, 2003: 115-121

[7] Cardei M, Du D Z. Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization [J]. ACM Wireless Networks, 2005, 11(3): 333-444

[8] Meguerdichian S, Koushanfar F, Potkonjak M. Worst and best-case coverage in sensor networks[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2005, 4(1): 84-92

[9] Slijepcevic S, Potkonjak M. Power efficient organization of wireless sensor networks[C]//Proc. of the Int'l Conf. on Communications. Helsinki: IEEE Communication Society, 2001: 472-476

[10] 包旭, 巨永锋. 面向节点失效的无线传感器网络覆盖空洞修复算法[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(6): 1516-1519

[11] Valli R, Dananjayan P. Utility Enhancement by Game Theoretic Approach Using Square Grid Topology in WSN[C]//Process Automation, Control and Computing (PACC). 2011: 1-4

[12] Closas P, Pages-Zamora A, Fernandez-Rubio J A. A game theoretical algorithm for joint power and topology control in distributed WSN[C]//Acoustics, Speech and Signal Processing IC-ASSP, 2009: 2765-2768

[13] Raja P, Danajayan P. Game theory based ETDMA for intra-cluster wireless sensor network [C] // Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT). 2012: 272-276

[14] Zhu Yun, Xu You-yun, Liu Lu-lu, et al. A Power Control Algorithm Based on Non-cooperative Game for Wireless Sensor Networks[C]//Computational and Information Sciences (ICCIS). 2011: 718-721

[15] Lima C, de Abreu G T F. Game-theoretical Relay Selection strategy for geographic routing in Multi-hop WSNs[C]//Positioning, Navigation and Communication (WPNC). 2008: 277-283

[16] Monderer D, Shapley L. Potential games[J]. Games and Economic Behavior, 1996, 14: 124-143

[17] Zhang Hong-hai, Hou J C. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks[J]. Journal of Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, 2005

(上接第 205 页)

[2] 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

[3] 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, 23(3): 162-166

[4] 李国辉,苏真伟,夏心怡. 基于不规则成像机器视觉的棉花白色异纤检测算法[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 164-167

[5] Heinemann P H, Varghese Z A, Morrow C T, et al. Machine vision inspection of Golden Delicious apples[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 11(6): 901-906

[6] 熊利荣,王树才. 基于机器视觉的鸭蛋裂纹自动检测[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(12): 3152-3154

[7] 王秀萍,何忠蛟. 不同照明条件下菌菇罐头中发丝的准确识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 264-271

[8] OpenCV 2. 3. 2 documentation[OL]. http://www.opencv.org.cn/opencvdoc/2.3.2/html/doc/tutorials/imgproc/histograms/back_projection/back_projection.html

[9] Hunt K J, Sbarbaro D, Zbikowski R, et al. Neural Networks for Control Systems—A Survey[J]. Automatica, 1992, 28(6): 1083-1112

[10] 徐阳,曹杰. 一种基于对比度阈值的改进 SIFT 算法[J]. 电子设计工程, 2012, 20(19): 174-177

[11] Hou Xiao-di, Zhang Li-qing. Computer Vision and Pattern Recognition[C]//IEEE Conference on 2007 (CVPR '07). 2007

[12] Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Computer Vision and Pattern Recognition [C] // IEEE Conference on 2009 (CVPR 2009). 2009