

文章编号 :1003-8701(2012)04-0072-05

一种粘连谷物图像分割及杂质识别算法开发

闫磊,刘芷宁,林剑辉,钱桦,刘晋浩*

(北京林业大学工学院,北京 100083)

摘要:本文提出了一种自动分割粘连谷物并识别杂质的算法。该算法首先使用基于形态学多尺度分解的分水岭算法对粘连颗粒进行分割,接着提取各个颗粒的形态特征和颜色特征,然后计算上述样本颗粒的特征值与完好谷物的特征值之间的马氏距离,并比较它们的马氏距离与设定的阈值,来识别混杂在谷物中的杂质。通过对5种谷粒(普通大米、粗米、糙米、普通大麦、糯麦)的实验,结果表明该算法取得了较好的分割与识别效果,为谷物质量分级的评定提供了一种快速有效地检测谷物产品杂质率的方法。

关键词:粘连谷物;杂质;形态学多尺度;分水岭;马氏距离

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

Development of Splitting and Identification Algorithm of Touching Kernels in Digital Images

YAN Lei, LIU Zhi-ning, LIN Jian-hui, QIAN Hua, LIU Jin-hao*

(School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: An improved automatic method of separation and identification of touching kernels and foreign materials in digital images was proposed. At first, the image was filtered and converted into a binary image. Then the touching kernels were separated by using watershed algorithm based on morphological multi-scale decomposition (MSD). Next, the morphological and color features from each segmented component and standard kernel were extracted for calculation of Mahalanobis distance between each segmented component's features and those of standard kernels. Finally foreign materials were identified by comparing Mahalanobis distance with the given threshold. Five kinds of kernels (common rice, rough rice, brown rice, common barley and glutinous barley) were tested and the experimental results showed that the proposed algorithm could separate touching kernels effectively and identify foreign material correctly.

Keywords: Touching kernels; Foreign materials; Morphological multiscale; Watershed; Mahalanobis distance

谷物质量分级标准是作为提高和稳定谷物质量和满足消费者对不同谷物需要的技术基础。这些标准包括加工精度、色泽和气味以及杂质率等,其中杂质率是谷物质量分级的重要依据^[1-2]。为了

检测谷物产品的杂质率,人们通过各种分离过程来测定谷物中杂质的量,例如风选法、筛选法、比重分选法,然而这些传统的方法受工作环境、工作设备以及人们的操作差异等因素的影响,不仅客观性差,而且操作耗时费力,检测精度低^[3]。随着机器视觉技术的发展,该技术在农业中的应用越来越广泛,包括谷物筛选、识别等,取得了良好的效果。虽然人们利用多种方法解决识别破损的谷物^[4]、对谷物进行分类^[5-6]、对谷物进行外观品质评价^[7-8]等问题,但是这些研究大多数是基于谷物颗粒之间不粘连的前提下的,而在实际工作环境中,

收稿日期:2012-03-24

基金项目:北京林业大学青年科学基金项目(2010BLX10);北京市自然科学基金资助项目(6123035)

作者简介:闫磊(1979-),男,讲师,博士,主要从事图像处理、模式识别方向研究。

通讯作者:刘晋浩,男,教授,博士,博士生导师,

E-mail: liujinhao@vip.163.com

谷物之间互相粘连甚至重叠的现象比较普遍,这给研究中的特征提取和识别分类带来了困难。

目前解决物体粘连的问题已经成为研究的热点,研究者们开发出多种分割方法,如分水岭算法^[9]、利用子粒轮廓曲率的方法^[10]、椭圆曲线拟合算法^[11]、基于主动轮廓模型的算法^[12]等。Vincent 利用地形学中的分水岭概念建立了原始分水岭算法的理论,但该方法比较复杂、计算量比较大,通常会伴随过分割现象^[9]。Visen 根据曲率识别接触点,并将具有最短距离的接触点连接成分割线,但该算法易错误配对接触点,从而产生错误的分割线^[10]。Yan 通过检测物体边缘和曲线拟合的方法来分割粘连物体图像,然而该方法仅针对有少量物体粘连的情况,如果粘连物体较多或粘连程度较严重时,并不能有效地产生正确的代表椭圆^[11]。杨蜀秦等提出一种基于主动轮廓模型的分割算法,但它为一种半自动的分割方法,需用户交互式地输入初始曲线且其运算时间较长^[12]。

分水岭算法作为一种常用的图像分割算法,具有良好的边缘检测和准确的定位能力,但过分割问题使它的应用受到制约。为了克服分水岭算法的缺点,一些改进的分水岭算法被开发出来。Meyer 提出了一种基于标记的分水岭算法,它有效地避免了过分割现象,但不能自动设定标记,且分割边界的精度随标记数量的增多而减小^[13]。Wang 等提出对基于标记的分水岭算法进行区域融合及边缘修剪,该方法有一定的效果,但一些多余毛刺没有被移除,降低了正确分割率^[14]。Liu 等结合多尺度和距离变换运算优化分水岭变换,成功分割了串连和内连情况下的数目较少的细胞群,但并没有解决在细胞数目增多且粘连程度严重的场合下的粘连问题^[15]。

本文应用基于形态学多尺度分解的分水岭算法(MSD)对粘连颗粒进行分割^[16],该算法可以有效避免过分割现象并得到正确的分割线。然后对分割后的谷物与杂质进行特征提取,通过计算它们与完好谷物特征值之间的马氏距离,识别混杂在粘连谷物堆中的杂质。实验证明,此方法有效可行,能对粘连谷物进行有效分割和实现杂质的高精度识别。

1 材料与方法

1.1 图像采集系统与获取的图像

一个带有 RGB 彩色传感器、配备 16~85 mm 焦距镜头(Model AF-SNIKKOR)的彩色数码

相机(Model D200 ,Nikon)被用来采集图像。相机架在支架上,以便稳固地支撑和垂直移动。拍摄前,将一个环形的日光灯放置在与样本摆放平台平行的位置上,用以提供均匀分布的采光环境,使物体的阴影极小,几乎不影响后续处理的效果。相机的拍摄模式被固定,包括光圈大小、白平衡调节和图像分辨率(0.035 6×0.032 9 mm/pixel),保证了实验效果的统一性。黑色的背景能将反射影响降到最低,从而比较准确地反映出每个像素的 RGB 参数值。

图像采集系统所获取的图像分为两组:一组是完好谷物的图像,谷物之间互不粘连;另一组是粘连谷物和杂质的图像,谷物与杂质随机摆放。两组均为简化的自然摆放状态,不存在堆叠现象。完好谷物、粘连谷物和杂质都是实验中所用到的样本。

1.2 谷物样本

5 种不同谷粒被用作本实验的样本,如图 1 所示。它们虽然有各自的特征,但在大小、形状和颜色上也存在着相似之处。每种完好谷物包括大米 414 粒、粗米 485 粒、糙米 407 粒、大麦 494 粒、糯麦 489 粒。

在每一类谷粒中,破损的同种谷粒、不良的同种谷粒(例如发霉的米粒或麦粒)、形状相似的异种谷粒以及形状和颜色特征都差异较大的物质都被划分为杂质。实验中,每堆待分割与识别的谷粒颗粒中随机掺入了一到十几粒不等的杂质。粘连谷物与杂质的数目后文中有介绍。



图 1 谷物样本

2 本文算法

2.1 图像预处理

标准谷物的互不粘连的图像和粘连谷物与杂质的图像预处理过程是一致的。首先将 RGB 图像转换成灰度图像,然后使用中值滤波器来滤除灰度图中的噪声干扰,最后将其转换成二值图像,像素值等于 1 的区域为目标物,像素值等于 0 的区域为背景。

2.2 基于形态学多尺度分解的分水岭算法

该算法首先将原图像分解成多个尺度的标记图像,然后从最小尺度的标记图像开始重构目标物的形状与大小,同时,使用分水岭算法产生分割

线并保留它们,最终通过上述迭代重构的方法,既还原了原图像中目标物的形状与大小,也产生了正确的分割线(即分水岭)。

算法具体步骤如下:

(1)首先获取原始 RGB 图像,并通过滤波运算去除噪音干扰,将它转换成二值图像;

(2)通过逐层“先腐蚀 - 后膨胀”的掩膜重构方式,将二值图像分解成不同尺度的标记图像并将它们保存,最小尺度的标记图像由二值图像的目标物在被腐蚀消失前的最后一步重构操作得到。其中,腐蚀和膨胀的次数是通过大量实验后得到的,分别为 3 和 4。先腐蚀 3 次能有效滤除错误的标记,再在掩膜下膨胀 4 次能重构出比较满意的标记图像。图 2(a)为其中一个尺度的标记图像;

(3)从最小尺度的标记图像开始,对它采用分水岭算法产生分割线(SKIZ)^[17]。在保留 Skiz 以及利用上一尺度的标记图像作为掩膜图像的前提下,对当前图像进行膨胀操作,直到它膨胀后的图像达到一个稳定不变的状态(此操纵过程称为 White-Skiz)。图 2(b)为(a)的 skiz 图像,(c)为对(b)进行了 White-Skiz 操作后的图像;

(4)将(3)得到的图像与上一尺度的标记图像进行一系列逻辑运算后,得到的结果图像作为下一次 White-Skiz 操作的原始图像;

(5)对以后每一尺度的标记图像重复(3)、(4)的操作,通过这种迭代的方法,得出结果图像,既恢复了原图目标物又产生了正确的分割线。图 2(d)为分割结果的二值图像。

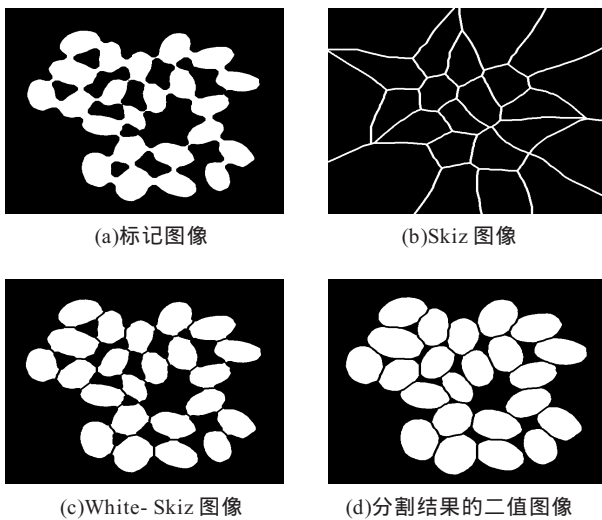


图 2 分割算法关键步骤图像

2.3 特征提取

对粘连颗粒进行分割后,每粒谷物与杂质的

特征值和完好谷粒的特征值需要被提取,用以后续的识别分类。本文选择了 7 个颜色特征和 10 个典型的形态特征,其中颜色特征包括红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)、色调(H)、饱和度(S)、亮度(V)以及这 6 个分量的中值和色调的标准差(stdHue);形态特征包括面积、长度、宽度、长轴长、短轴长、等效直径、圆度($R = \text{周长} / (4 \times \pi \times \text{面积})$)、纵横比($K1 = \text{长轴长} / \text{短轴长}$)、长宽比、扩展度($E = (\text{长} \times \text{宽}) / \text{面积}$)。

2.4 马氏距离与识别

马氏距离表示数据的协方差距离,是一种有效的计算两个未知样本集的相似度的方法。与欧式距离不同的是,它考虑到各种特性之间的联系(例如本文的谷物特征提取,面积大小会影响等效直径的长度,因为二者是有关联的),并且独立于测量尺度。使用它进行识别,首先计算待识别的谷物与杂质特征与完好谷物特征之间的马氏距离,然后通过多次试验选取一个确定的马氏距离数值,该数值远大于有微小特征差异的完好谷物特征之间的马氏距离且小于完好谷物特征与杂质特征之间的马氏距离,最后将这个设定的阈值与上述的马氏距离进行比较,小于阈值的被判定为完好谷物,大于阈值的则判定为杂质。

3 实验结果与讨论

3.1 分割结果与讨论

本文对 5 种谷粒进行了分割效果的实验。图 3(a)展示的是大麦与杂质的原图像,图 3(b)展示的是对原图像应用本文算法得到的分割结果图像。

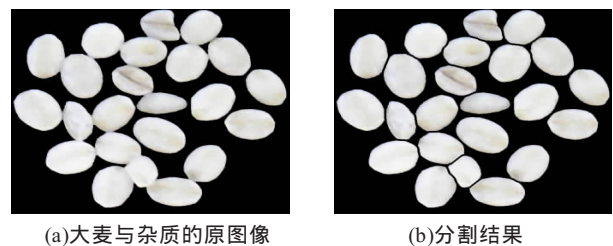


图 3 大麦与杂质的原图像和分割结果

分割效果根据以下 3 个指标来评价:1) 每类粘连谷粒与杂质图像中,颗粒间要实现完全分离所需的分割线的数目(即理想分割线数);2) 颗粒群的平均分割线的数目(即理想分割线数与颗粒群总数之比,比值越大代表粘连程度越严重,其中有两个或以上颗粒粘连的群体称为颗粒群);3) 正确分割线的数目(在粘连颗粒之间产生正确分割线的数目)。

经过分析可知,产生错误分割线的现象与 MSD 算法本身的不足有关(例如,结构元素的形状

表 1 基于本文分割算法的粘连谷物分割结果

类别	理想分割线数	颗粒群总数 (平均分割线数)	正确分割线数 (百分率)
大米	424	65(6.52)	421(99.29%)
粗米	379	54(7.02)	368(97.10%)
糙米	586	75(7.81)	573(97.78%)
大麦	360	30(12.00)	358(99.44%)
糯麦	533	16(33.31)	531(99.62%)

和大小对其分割效果的影响,以及 MSD 不能很好地分离一些小突出^[16],但各类谷物的错误分割率最高为 2.9%、最低为 0.38%,低错误分割率能满足我们对分割效果的要求。

3.2 识别结果与讨论

本文对上述分割后的颗粒进行特征提取后,将之与完好谷物的特征对比,计算出它们之间的马氏距离,然后通过设定阈值、比较后,识别出谷物堆中的杂质。如图 4(b)所示,所有杂质都被识别出来。

识别过程中,阈值的选取影响识别效果:如果阈值过低,那么一些形状与颜色特征相似的杂质

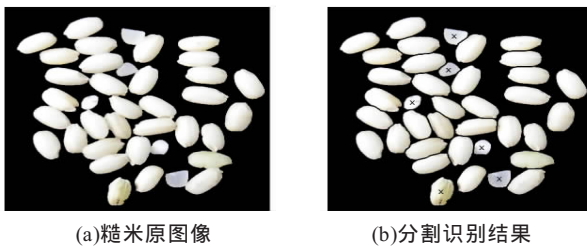


图 4 糙米堆中杂质的识别结果

容易被误判为完好谷物;反之,如果阈值过高,则一些有微小形变的完好谷物容易被误判为杂质。因此,设定阈值时,为了尽可能地平衡完好谷物与杂质的识别效果,通过大量实验对比,对每一类谷物都设定一个适当的阈值(大米 415,粗米 440,糙米 683,大麦 984,糯麦 311),保证完好谷物与杂质的识别结果都有较高的精度。表 2 列出了基于上述阈值而统计的识别结果数据(表中的百分数以颗粒总数为标准量)。

尽管识别的正确率比较高,但也存在完好谷物被识别为杂质的现象,这有几个原因:一是完好谷

表 2 完好谷物与杂质的识别结果

类别	颗粒总数	杂质	正确识别的杂质
大米	409	20	18(90.00%)
粗米	467	66	64(96.97%)
糙米	709	86	86(100.00%)
大麦	401	50	46(90.20%)
糯麦	213	23	23(100.00%)

粒与杂质未能分割成功,导致了误判;二是由于阈值是基于样本特征的数据得来的经验值,因此会存在误差,导致了误判,但阈值的误差可通过增加样本容量来减小。此外,直接应用 17 个特征计算马氏距离进行谷物的分类,也有造成算法效率下降的可能。因此,下一步将应用主成分分析、线性判别分析等方法来降低特征的维数,检验识别效率。

4 结 论

本文采用基于形态学多尺度分解的分水岭算法对粘连谷物与杂质进行分割,并提取了完好谷物与分割后的谷物与杂质的形态特征和颜色特征,通过计算这些特征值之间的马氏距离,比较每粒分割后的谷物和杂质的马氏距离与阈值的大小,识别出混杂在粘连谷物堆中的杂质。5 类谷粒用来测试算法效果,实验证明,本文提出的算法能对粘连谷粒与杂质图像进行较理想的分割,有效克服过分割现象,而且它对谷物堆中的杂质识别精度高,是一种可靠有效的方法。

参考文献:

- [1] 中国国家标准化管理委员会. GB 1353-2009 玉米 [Z]. 北京:中国国家标准化管理委员会,2009.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. GB 1354-2009 大米 [Z]. 北京:中国国家标准化管理委员会,2009.
- [3] 张宏斌,袁鼎山. 小麦分层清理剥皮制粉和小麦湿法清理制粉[J]. 粮食加工,2007,32(5):30-32.
- [4] Luo X, Jayas DS, Symons SJ. Identification of damaged kernels in wheat using a colour machine vision system[J]. Cereal Sci, 1999, 30(1): 49-59.
- [5] Paliwal J, Borhan MS, Jayas DS. Classification of cereal grains using a flatbed scanner [J]. Can Biosyst Eng, 2004a (46): 31-35.
- [6] Carter RM, Yan Y, Tomlins K. Digital imaging based classification and authentication of granular food products [J]. Meas Sci Technol, 2006, 17(2): 235-240.
- [7] 王志军,丛培盛,周佳璐,等. 基于图像处理与人工神经网络的小麦颗粒外观品质评价方法 [J]. 农业工程学报,2007,23(1):158-161.
- [8] 曾庆兵,刘成良,苗玉彬,等. 基于形态学图像处理的重叠葡萄果径无损测量[J]. 农业工程学报,2009,25(9):356-360.
- [9] Vincent L, Soille P. Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.
- [10] Visen NS, Shashidhar NS, Paliwal J, et al. Identification and segmentation of occluding groups of grain kernels in a grain sample image [J]. Agriculture Engineering Research, 2001, 79(2): 159-166.
- [11] Lei YAN, Cheol-Woo PARK. New separation algorithm for

- touching grain kernels based on contour segments and ellipse fitting [J]. Zhejiang Univ- Sci C (Comput & Electron), 2011, 12(1): 54- 61 .
- [12] 杨蜀秦, 宁纪锋, 何东健. 一种基于主动轮廓模型的连接米粒图像分割算法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 207- 211 .
- [13] Meyer, Fernand. Topographic distance and watershed lines [J]. Signal Processing, 1994(38): 113- 125 .
- [14] Wang W, Paliwal J. Separation and identification of touching kernels and dockage components in digital images [J]. Canadian Biosystems Engineering, 2006(48): 71- 77 .
- [15] Yinghong Liu, Qingjie Zhao. An improved watershed algorithm based on multi- scale gradient and distance transformation [J]. IEEE International Congress on, 2010: 3750- 3754 .
- [16] Schmitt O, Hasse M. Morphological multiscale decomposition of connected regions with emphasis on cell clusters [J]. Computer Vision and Image understanding, 2009, 113(2): 188- 201 .
- [17] P. Soille 著, 王小鹏译. 形态学图像分析原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008 :103- 134 .

《吉林农业科学》征稿简则

《吉林农业科学》是吉林省农业科学院主办的综合性农业科学技术刊物。目前是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库来源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊。主要刊登作物育种、耕作栽培、植物保护、土壤肥料、畜牧兽医、果树园艺、农业经济、农产食品加工等学科的文献综述、研究报告、农业生产新技术和新方法等方面的学术论文。

来稿要求和注意事项：

1. 来稿请用 A4 打印纸打印, 文稿务求取材真实、数据可靠、文字精练朴实、科学性和实用性强。一般每篇文章不超过 5 000 字(特殊情况例外)。来稿可向 E-mail: jlnyxx@cjaas.com; jlnyxx@163.com(电子信箱)投稿。

2. 文章书写顺序: 标题, 作者姓名, 工作单位, 邮政编码, 中文摘要(100 ~ 300 字), 关键词(3 ~ 8 个), 英文标题, 作者姓名, 工作单位, 邮政编码, 摘要, 关键词, 正文, 参考文献。附作者简介和基金项目(无基金项目可省略此项)。

3. 摘要应具有独立性和自含性, 不应出现图表、冗长的数学公式和非公知公用的符号、缩略语。

4. 作者简介只写第一作者, 标于正文首页下方。格式为: 姓名(出生年-), 性别, 民族(汉族可省略), 职称, 学位, 主要从事的研究工作。电话及电子信箱。通讯作者: 姓名, 学位, 职称, 电子信箱。

5. 基金项目指文章产出的资助背景(如国家自然科学基金、教育部博士点基金等), 应按国家有关部门规定的正式名称填写, 并写出基金号码。

6. 文中图表只需附最必要的, 凡文字能表达的不用图表。图表布局要合理, 随文编排, 大小适中; 照片要求图像清晰, 反差适宜。表一般采用三线表, 标目要明确, 图表中文字、符号应与文中一致。

外文字母要分清大小写、正斜体, 符号的上下角位置要有明显区别。文中首次出现的动、植物名称应给出拉丁学名(斜体)。专业性缩略词首次出现时应给出中、英文全称。

文中计量单位采用国家标准, 在公式、图表和文字叙述中一律使用国家法定计量单位。

7. 参考文献排列顺序以在正文中引用的参考文献出现的先后为序, 不得随意排列。每条参考文献必须列出的内容、标点符号及其顺序: 图书为著者, 书名, 出版地, 出版者, 出版年, 起讫页码; 期刊为作者, 篇名, 刊名, 出版年, 卷(期), 起讫页码。

8. 来稿采用与否, 均由本刊编委会最后审定。依照《著作权法》规定, 本编辑部有权对来稿作文字修改、删节, 如作者不同意对文稿修改, 务请在来稿中注明。

9. 编辑部收到来稿后, 一周内发出是否刊用通知, 请作者注意查看您的投稿信箱。来稿一经刊登, 本刊视情况酌收发表费。刊登后一个月内, 按篇酌致稿酬, 并赠送当期样刊。

编辑部地址: 吉林省长春市彩宇大街 1363 号。投稿信箱 E-mail: jlnyxx@cjaas.com; jlnyxx@163.com 电话: 0431-87063151。