

一种基于主动轮廓模型的连接米粒图像分割算法

杨蜀秦^{1,3}, 宁纪锋², 何东健^{1,3*}

(1. 西北农林科技大学机电学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学信息工程学院, 杨凌 712100;
3. 陕西省农业装备工程技术研究中心, 杨凌 712100)

摘要: 针对图像中连接米粒分割困难的问题, 提出了一种基于主动轮廓模型的分割算法。首先, 对籽粒二值图像的欧氏距离变换进行局部极小值检测, 并通过形态学膨胀算子合并局部极小值点, 在每个籽粒内部只产生一个区域。其次, 以这些区域的边界作为初始曲线, 在主动轮廓模型的指导下, 曲线向籽粒的边界演化, 最终将图像中各个米粒分割。试验结果表明, 对圆江米、粳米、长江米和黑米4个品种的米粒, 基于主动轮廓模型连接米粒图像分割算法的分割正确率分别达到93.4%、92.4%、88.0%和90.4%, 综合准确率为91.05%, 比基于分水岭的方法提高了26.7%。因此, 基于主动轮廓模型的算法为分割连接米粒图像提供了一种有效途径。

关键词: 图像分割, 算法, 图像处理, 主动轮廓模型, 连接米粒, 距离变换, 分水岭

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.02.036

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-02-0207-05

杨蜀秦, 宁纪锋, 何东健. 一种基于主动轮廓模型连接米粒图像分割算法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 207-211.
Yang Shuqin, Ning Jifeng, He Dongjian. Image segmentation algorithm of touching rice kernels based on active contour model[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 207-211. (in Chinese with English abstract)

0 引言

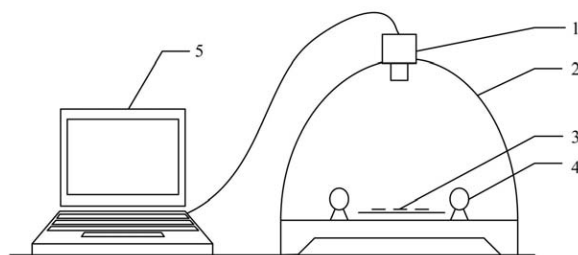
连接籽粒图像的自动分割是机器视觉技术检测农作物籽粒外观品质的一个重要内容^[1-7]。在一些研究中^[2-3], 为了避免出现籽粒互相连接的现象, 采取手工放置籽粒的作法。而在实际的农作物籽粒在线检测系统中, 籽粒被随机放置在载样台或传送带上, 籽粒接触的现象难以避免, 因此需要研究相应的自动分割算法。Shatadal等^[4]利用数学形态学方法分割连接的籽粒, 但该方法仅适用于单点接触的籽粒, 对连接处为接触线的情况分割效果不理想。Visen等^[5]根据曲率识别接触点, 具有最短距离的接触点被认为是米粒的接触线, 但该方法易对接触线产生误识别。凌云等^[6]基于面积阈值识别单个和连接的籽粒, 再进一步利用形态学方法分割连接籽粒。文献[7]用曲率的方法对该问题作了初步研究, 但提出的算法过程复杂, 且仅适用于图像中米粒连接较少的简单情况。

分水岭算法作为一种常用的图像分割算法, 对微弱边缘具有良好的响应, 可以得到封闭连续的边缘。另外, 分水岭算法^[8]得到的封闭集水盆, 为分析图像的区域特征提供了可能。然而图像中的噪声、图像结构特征和物体

表面细微的灰度变化等因素均会使分水岭产生过度分割。而主动轮廓模型^[9]是一种基于变分法的图像分割模型, 在最小化能量泛函的约束下, 自动地向目标边界收敛, 但是它的分割结果依赖于初始曲线的选择。本文通过分析分水岭算法分割的缺点, 研究将距离变换和主动轮廓模型相结合的连接籽粒分割算法, 以解决籽粒过分割及轮廓线光滑性差等问题, 提高连接籽粒分割准确率。

1 试验材料和图像预处理

图1是大米籽粒图像的计算机视觉获取系统, 该系统由计算机、数码相机、照明室、载样台等组成。计算机选取HP6910p, Intel CPU T7100, 主频1.8 GHz, 内存2 G, 显卡ATI Mobility Radeon X2300(显卡内存128 MB), 数码相机选用SAMSUNG Digimax V10(700万像素), 照明室内壁涂成白色, 光源对称安装于照明室底部。针对米粒颜色的不同, 载样台上用黑色或白色橡胶板作背景, 橡胶板用细砂布仔细打磨, 以避免背景光反射造成的光线干扰。样品随机摆放于载样台上, 由安装在照明室上方的数码相机获取其图像。



1.数码相机 2.照明室 3.载样台 4.光源 5.计算机

图1 大米籽粒图像获取系统

Fig.1 Acquire system of rice image

收稿日期: 2009-05-17 修订日期: 2009-08-28

基金项目: 国家自然科学基金(60975007); 西北农林科技大学基本科研业务费青年项目(QN2009091); 西北农林科技大学人才专项资金资助(Z111020902)

作者简介: 杨蜀秦(1978—), 女, 四川泸州人, 博士生, 中国农业工程学会会员(E040000163A), 主要从事计算机视觉研究。杨凌 西北农林科技大学机电学院, 712100。Email: yangshuqin1978@163.com

*通信作者: 何东健(1957—), 男, 陕西西乡人, 教授, 博士, 主要从事生物图像分析及识别、智能化检测与控制等方面研究。杨凌 西北农林科技大学机电学院, 712100。Email: hdj168@nwsuaf.edu.cn

采集圆江米、粳米、长江米和黑米 4 种具有不同外观特征的大米籽粒各 15 幅图像, 每幅含随机放置的籽粒 60~80 粒。每个品种各选用其中 500 个籽粒进行测试, 图像分辨率为 1516×1772 , 为了提高算法的运算速度, 将其下采样为 758×886 。

获取籽粒图像后, 采用固定阈值法得到二值化大米籽粒图像, 再经过中值滤波, 准备进行连接籽粒的分割。

2 连接米粒图像的分割特性及改进的主动轮廓模型分割方法

2.1 距离变换与分水岭算法分割连接米粒图像的局限性

虽然有多种方法可应用于连接目标的分割^[14-7,10-13], 但分割连接米粒图像时最常用的方法是结合距离变换和分水岭算法。对于连接籽粒的二值图像, 距离变换一般会在米粒连接处形成微弱的边缘, 因此, 分水岭算法能够较好地分割连接米粒图像的接触处。但是, 距离变换经常会在 1 个籽粒内部产生 1 个或多个局部极小值。由于在分水岭算法中, 1 个局部极小值对应 1 个分割区域, 所以这种算法最终将会根据这些局部极小值对单个籽粒产生过分割现象。

图 2 为结合欧氏距离变换(变换结果进行了反转)和分水岭算法分割圆江米的例子, 图像尺寸 170×160 , 图中包含多个紧密连接的籽粒。从分割结果可以看出, 采用分水岭算法, 尽管在连接线处分割正确, 但由于距离变换在一些籽粒内部产生多个局部极小值(图 2c), 从而产生过分割, 由此造成这些米粒图像并没有得到正确的分割结果。

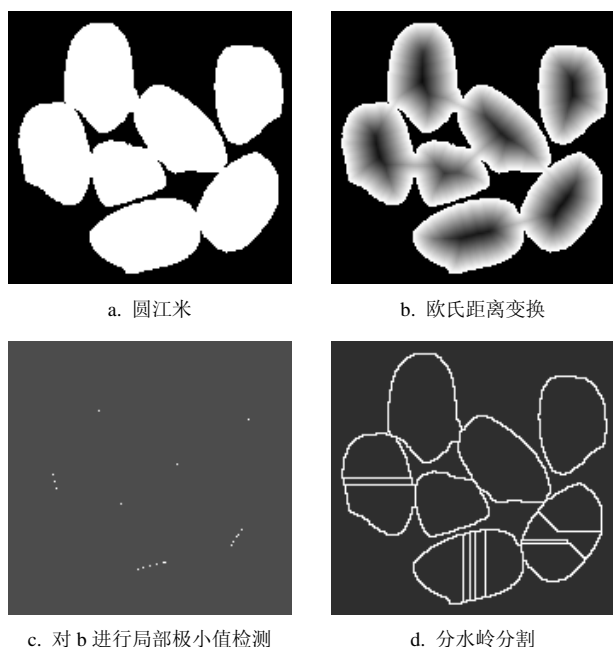


图 2 使用距离变换和分水岭算法分割圆江米图像
Fig.2 Segmented images of round glutinous rice kernels using distance transform and watershed algorithms

图 2 显示, 分水岭算法分割连接米粒图像的有效性依赖于距离变换的结果。如果在 1 个籽粒图像内部只产生 1 个局部极小值, 则分水岭算法能够得到正确的分割

结果, 否则将会导致分割失败。另外, 分水岭分割的一个缺点是, 分割后米粒图像轮廓线的光滑性较差。因此需要研究新的方法解决这些问题。

2.2 基于主动轮廓模型的连接米粒图像分割算法

主动轮廓模型(active contour model)作为经典的基于偏微分方程的图像分割算法, 在图像处理中有着广泛的应用^[14-16]。该模型也称为蛇模型, 由 Kass 等^[9]提出。蛇是由参数方程表示的曲线, 它将一个能量泛函和该曲线相联系, 当曲线能量最小化时, 表示找到目标。在由曲线决定的内力和图像决定的外力的共同作用下, 曲线朝能量最小化的方向运动, 最终收敛于目标边界。

蛇是一条参数曲线 $c(s) = (x(s), y(s), 0 \leq s \leq 1)$, s 是参数曲线的定义域。蛇在图像域中移动, 使得如下能量泛函最小化

$$E_{\text{snakes}} = \int_0^1 \left[\frac{\alpha}{2} |c'(s)|^2 + \beta |c''(s)|^2 \right] + E_{\text{ext}}(c(s)) ds \quad (1)$$

式中: α 、 β ——控制曲线张力和刚性的权因子; $c'(s)$ 、 $c''(s)$ ——参数曲线的 1 阶和 2 阶导数; E_{ext} ——外部能量, 由图像导出, 当曲线位于感兴趣的特征(如目标边界)上时, 外部能量值较低。

式(1)的最小能量泛函所对应的欧拉-拉格朗日方程为

$$\alpha c''(s) - \beta c'''(s) - \nabla E_{\text{ext}} = 0 \quad (2)$$

式中: $c'''(s)$ ——参数曲线的 4 阶导数; ∇ ——梯度算子。

其对应的力场方程为

$$F_{\text{int}} + F_{\text{ext}} = 0 \quad (3)$$

式中: F_{int} ——内力, $F_{\text{int}} = \alpha c''(s) - \beta c'''(s)$; F_{ext} ——外力场或图像力场, $F_{\text{ext}} = -\nabla E_{\text{ext}}$ 。

在经典蛇模型中, 只有当初始曲线设置在目标附近时, 曲线才能收敛到目标边界的最终位置。而随着一些改进的外力场的提出, 蛇对初始曲线的敏感程度下降, 分割性能明显提高。但国内的研究鲜有将偏微分方程和蛇模型用于农业工程领域, 何东健等^[17]利用主动轮廓模型精确检测果实表面缺陷, 并取得了良好的试验结果。

蛇模型是一种半自动的图像分割算法, 它需要用户交互式地输入初始曲线后, 才能向目标边界运动。因此, 在实际应用中, 如果能够根据先验知识在每一个籽粒内部自动生成一条初始曲线, 那么蛇模型就能够引导该曲线向籽粒边界收敛, 使算法成为一种全自动的图像分割方法。而将二值图像距离变换的负梯度作为主动轮廓模型的外力场, 也能够改进分割结果^[18]。因此, 本文将籽粒二值图像的距离变换结果作为主动轮廓模型的外力场, 用于分割连接的籽粒。

虽然距离变换在每个籽粒内部形成多个局部极小值, 但图 2c 表明属于同一个籽粒的若干极小值点通常比较靠近。因此, 可对这些局部极小值点利用膨胀算子进行形态学合并, 将在每个籽粒内部形成一个区域。以这些区域的边界作为主动轮廓模型的初始曲线, 在距离变换所构成的外力场的指导下, 这些曲线将会向着籽粒的边界收敛, 从而实现连接米粒图像的自动分割。

基于上述思想,本文提出一种新的连接米粒图像分割算法,具体步骤为

1) 令 D 为籽粒二值图像距离变换的结果, E 是对 D 进行局部极小值检测的结果,其中,像素值为 1 表示局部极小值点,0 表示其他点,利用形态学膨胀算子合并邻近的区域极小值点

$$E = E \oplus S \quad (4)$$

式中: S ——结构元素,结构元素的半径根据米粒的品种和形态特征选取; \oplus ——膨胀运算。

2) 经过膨胀处理后, E 中形成若干个区域,分别位于每个籽粒的内部。利用边界跟踪算法提取 E 中所有区域的轮廓。

3) 基于距离变换结果 D , 计算主动轮廓模型的外力场 $F_{ext} = -\nabla D$ (5)

4) 以提取的轮廓作为主动轮廓模型的初始曲线,在外力场 F_{ext} 的引导下,曲线收敛到每个籽粒的边界。

3 结果与分析

在 Matlab7.0 环境下,编程实现本文提出的基于主动轮廓模型的连接米粒图像分割算法。以圆江米、粳米、长江米和黑米 4 种具有不同形状和颜色特征的连接米粒图像为测试对象进行分割试验。

首先,对圆江米距离变换的局部最小值(图 2c)进行膨胀运算,合并相邻的局部极小值点,将属于同一个籽粒的若干局部极值点聚合在一起,从而使每个籽粒内部只形成 1 个区域(图 3a)。然后,提取每个区域的边界作为主动轮廓模型的初始曲线(图 3b)。最后,在主动轮廓模型的指导下,这些曲线最终收敛到了每个籽粒的边界,如图 3c 所示。其中,最内部的曲线表示初始曲线,最外部的曲线表示最终的分割结果,其余曲线则表示主动轮廓模型的演化过程。试验结果显示,提出的方法在每个籽粒内部自动产生初始曲线,这些曲线在内力和外力的共同作用下,向连接米粒图像的真实边界运动,得到正确的分割结果。对比图 3c 和图 2d 可以看出,提出的方法克服了分水岭算法的过分割现象,并且在籽粒的边界得到了光滑的分割曲线,其分割结果显然优于使用距离变换的分水岭算法的分割效果。

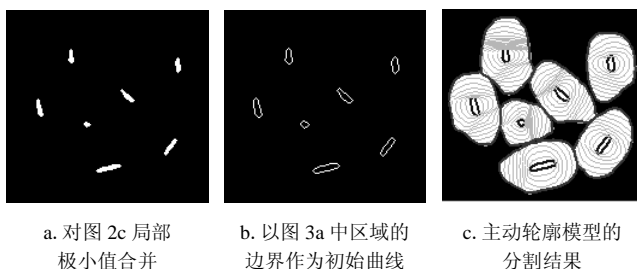


图 3 提出的方法分割图 2a 连接的圆江米
Fig.3 Segmented results of Fig.2a by proposed method

图 4a 为粳米籽粒图像,其特点是部分连接籽粒接触线较长,而且图像中还包含若干不完整籽粒,这些籽粒与一般的完整籽粒具有不同的形态特征。图 4b 和 4c 比较

了基于主动轮廓模型的连接米粒图像分割算法和分水岭算法的分割结果。显然,分水岭算法在一些籽粒内部出现了过分割现象,而基于主动轮廓模型的连接米粒图像分割算法对其中各种形态的籽粒都得到了正确的分割结果,改进效果比较明显。图 5a 为形状扁长的长江米籽粒,图 5b 显示分水岭算法难以得到正确的分割结果。而在图 5c 中,提出的方法结合距离变换和主动轮廓模型,根据籽粒的形状自动产生初始曲线,得到了正确的分割结果。图 6 为分割连接的黑米籽粒,图 6c 显示提出的方法同样得到了光滑、良好的结果,如实地反映出单个籽粒的轮廓。

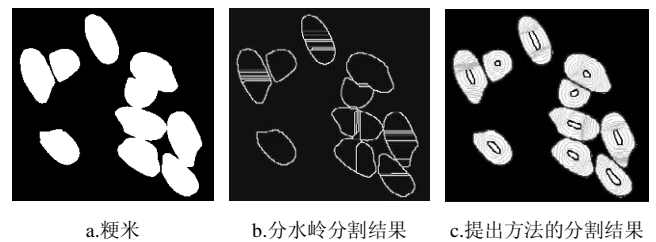


图 4 提出的方法和分水岭算法分割粳米
Fig.4 Segmentation comparison between watershed algorithm and proposed method for non-glutinous rice

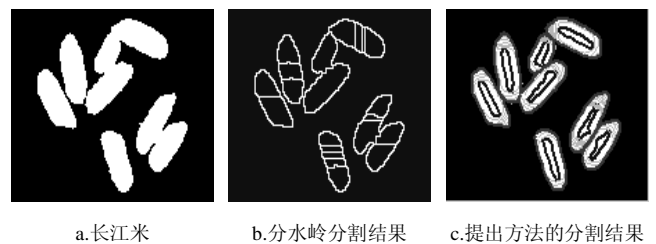


图 5 提出的方法和分水岭算法分割长江米
Fig.5 Segmentation comparison between watershed algorithm and proposed method for long glutinous rice

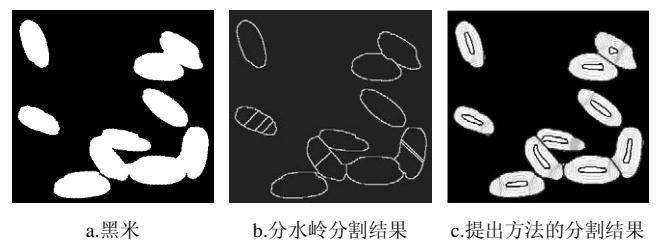


图 6 提出的方法和分水岭算法分割黑米
Fig.6 Segmentation comparison between watershed algorithm and proposed method for black rice

对于以上 4 个大米品种,提出的方法与基于距离变换的分水岭算法分割结果对比如表 1 所示。可以看出,对于 4 种大米籽粒图像,提出方法的分割准确率均高于分水岭算法的分割结果。对于测试的 2 000 粒籽粒,分水岭算法的平均正确分割率为 64.35%,而提出的方法为 91.05%。这是由于提出的方法根据米粒的形状自动产生初始曲线,在主动轮廓模型的作用下,曲线向籽粒的真实边界收敛,从而能够克服局部极小值的影响,得到最优的分割结果。对于外形接近于圆形的圆江米和粳米籽粒,两种算法的分割准确率差距分别为 15.4%和 17.4%,

而对于外形扁长的长江米和黑米,这种差距则分别达到了 41.6% 和 32.4%。这是因为分水岭算法的分割性能依赖于籽粒的形状。与接近圆形的籽粒相比,扁长的籽粒经过距离变换后,内部易产生多个局部极小值,从而导致更多的过分割。同时,在提出的方法中,对于扁长的长江米和黑米,存在接触线较长的连接米粒,形态学膨胀运算难以合并 1 个籽粒内部所有的局部极小值点,因此,算法分割性能下降。

表 1 连接米粒的图像分割结果分析

Table 1 Analysis of segmentation results for touching kernels

米粒品种	米粒数	分水岭算法			提出的方法		
		正确分割个数	正确率/%	时间/s	正确分割个数	正确率/%	时间/s
圆江米	500	390	78.0	32	467	93.4	73
粳米	500	375	75.0	41	462	92.4	94
长江米	500	232	46.4	39	440	88.0	87
黑米	500	290	58.0	38	452	90.4	98

从算法运行时间上看,分水岭算法对这 4 种大米籽粒的运行时间均小于提出的算法,前者的总用时为 150 s,而后者的总用时为 352 s。提出的算法比分水岭算法慢,原因在于主动轮廓模型是迭代收敛的过程,算法复杂性较高,但因其分割准确性高,为后续处理任务提供了可靠的数据。

4 结 论

以连接大米籽粒作为对象,结合距离变换和主动轮廓模型,提出了一种连接米粒图像自动分割算法。对 4 种不同形状和颜色的大米籽粒的分割试验表明,与分水岭分割算法相比,提出的算法的分割准确率平均提高了 26.7%,平均单粒检测时间为 0.176 s,分割曲线光滑,有效克服了以前米粒品质检测需要手工分散放置籽粒的缺点,提高了米粒品质检测的效率。

[参 考 文 献]

- [1] 成芳,应义斌. 机器视觉技术在农作物种子质量检验中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 175—178. Cheng Fang, Ying Yibin. Application of machine vision to quality evaluation of agricultural seed resources[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(6): 175—178. (in Chinese with English abstract)
- [2] 郑华东,刘木华,吴彦红,等. 基于计算机视觉的大米裂纹检测研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 129—134. Zheng Huadong, Liu Muhua, Wu Yanghong, et al. Rice fissure detection using computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(7): 129—134. (in Chinese with English abstract)
- [3] 成芳,应义斌. 基于轮廓特征的稻种芽谷检测方法[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 178—181. Cheng Fang, Ying Yibin. Inspection of germinated rice seed on panicle based on contour features[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 178—181. (in Chinese with English abstract)
- [4] Shatadal P, Jayas D S, Bulley N R. Digital Image analysis for software separation and classification of touching grains: I. Disconnect algorithm[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(2): 635—643.
- [5] Visen N S, Shashidhar N S, Paliwal J, et al. Identification and segmentation of occluding groups of grain kernels in a grain sample image[J]. Journal of Agriculture Engineering Research, 2001, 79(2): 159—166.
- [6] 凌云,王一鸣,孙明,等. 基于流域算法的谷物籽粒图像分割技术[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 95—98. Ling Yun, Wang Yiming, Sun Ming, et al. Application of watershed algorithm to paddy image segmentation[J]. Transactions of the CSAM, 2005, 36(3): 95—98. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杨蜀秦,何东健. 连接大米籽粒图像的自动分割算法研究[J]. 农机化研究, 2005, (3): 62—65. Yang Shuqin, He Dongjian. Automated identification and separation of touching rice grains with machine vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, (3): 62—65. (in Chinese with English abstract)
- [8] Vicent L, Soille P. Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583—598.
- [9] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snake: active contour models[J]. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(4): 321—331.
- [10] Shashidhar N S, Jayas D S, Crowe T G, et al. Processing of digital image of touching kernels by ellipse fitting[J]. Canadian Agricultural Engineering, 1997, 39(2): 139—142.
- [11] Gong Zhang, Digvir S Jayas, Noel D G White. Separation of touching grain kernels in an image by ellipse fitting algorithm[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(2): 135—142.
- [12] 周天娟,张铁中,杨丽,等. 基于数学形态学的相接触草莓果实的分割方法及比较研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 164—168. Zhou Tianjuan, Zhang Tiezhong, Yang Li, et al. Comparison of two algorithms based on mathematical morphology for segmentation of touching strawberry fruits[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 164—168. (in Chinese with English abstract)
- [13] Wang W, Paliwal J. Separation and identification of touching kernels and dockage components in digital images[J]. Canadian Biosystems Engineering, 2006, 48: 7.1—7.7.
- [14] 李培华,张田文. 主动轮廓线模型(蛇模型)综述[J]. 软件学报, 2000, 11(6): 751—757. Li Peihua, Zhang Tianwen. Review on active contour model (snake model)[J]. Journal of Software, 2000, 11(6): 751—757. (in Chinese with English abstract)
- [15] Caselles V, Kimmel R, Sapiro G. Geodesic active contours[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 10(1): 61—79.
- [16] Pang B, Zhang D, Wang K Q. The bi-elliptical deformable contour and its application to automated tongue segmentation in Chinese medicine[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2005, 24(8): 946—956.

- [17] 何东健, 耿楠, 党革荣, 等. 用活动边界模型精确检测果实表面缺陷[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 159—162.
He Dongjian, Geng Nan, Dang Gerong, et al. Accurate measurement of defect edge by the active contour models [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 159—162. (in Chinese with English abstract)
- [18] Cohen L D, Cohen I. Finite-element methods for active contour models and balloons for 2-D and 3-D images[J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1993, 15(11): 1131—1147.

Image segmentation algorithm of touching rice kernels based on active contour model

Yang Shuqin^{1,3}, Ning Jifeng², He Dongjian^{1,3*}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. College of Information Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

3. Research Center of Agricultural Equipment Engineering and Technology of Shaanxi, Yangling 712100, China)

Abstract: A new segmentation method based on active contour model was proposed in this paper and was applied to segmenting touching rice kernels in an image. Firstly, the local minimums were detected in the Euclidean distance transform of the binary image of the rice kernels. Those local minimums were merged by the morphologic dilation operator, so that one kernel corresponded to one region. Then, the edges of those regions were taken as initial curves and converged to the true boundary of the rice kernels in the image under the guidance of active contour model. The experimental results showed that the proposed segmentation algorithm based on active contour model got desirable segmentation. Its segmentation accuracy for round glutinous rice, non-glutinous rice, long glutinous rice and black rice reached 93.4%, 92.4%, 88.0% and 90.4%, respectively. That was, its overall accuracy achieved 91.05%, which was 26.7% more than that of the watershed based method. Therefore, the algorithm based on active contour model provides an effective means to separate the touching rice kernels in an image.

Key words: image segmentation, algorithms, image processing, active contour model, touching rice kernels, distance transform, watershed