

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.04.033

粘连玉米籽粒图像的自动分割方法*

荀一¹ 鲍官军¹ 杨庆华¹ 高峰¹ 李伟²

(1. 浙江工业大学特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 杭州 310032; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 以玉米籽粒为对象,提出了一种基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法,实现了粘连玉米籽粒图像的自动分割。对于两个相互粘连的籽粒,在对粘连目标进行连续腐蚀—膨胀处理过程中,相互接触籽粒会形成公共区域,将公共区域与任意一个籽粒轮廓进行交集运算后,得到一段不封闭的曲线,曲线段的端点作为分割点,再运用 Bresenham 画线算法生成分割线,将这两个籽粒分离。对于大量粘连的籽粒,采用同样的方法,以“剥离”方式可将籽粒逐个分离出来。对 100 组粘连籽粒图像进行算法测试,分割正确率为 96%,分割后的籽粒边界较为平滑,变形较小。

关键词: 玉米籽粒 粘连 图像处理 自动分割 Bresenham 算法

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0163-05

Automatic Segmentation of Touching Corn Kernels in Digital Image

Xun Yi¹ Bao Guanjun¹ Yang Qinghua¹ Gao Feng¹ Li Wei²

(1. Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Processing Technology of Ministry of Education,

Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Based on public areas and contours of touching kernels, an approach to search segmentation points was developed, realizing automatic segmentation of touching corn kernels. For two touching kernels, the public area could be obtained in the process of continuous erosion-dilation. Non-closed curve segment was extracted by getting intersection of the public area and one kernel contour. The endpoints of the curve segment were segmentation points. Then the two touching kernels were separated by linking two segmentation points with Bresenham algorithm. For massive touching kernels, every single kernel could be stripped using the similar method. The experimental results on 100 touching kernels images showed that the correction rate of segmentation is 96%. The kernels after segmentation have small deformation and smooth boundaries.

Key words Corn kernels, Touching, Image process, Automatic segmentation, Bresenham algorithm

引言

利用机器视觉技术进行谷物品质自动检测和分级研究中,通常采用手工摆放、固定孔穴、振动的方式使得籽粒之间互不接触,以便于籽粒图像特征提取。手工摆放降低了谷物检测效率,固定孔穴和振

动的方式也不能完全避免籽粒粘连情况,因此研究粘连籽粒图像自动分割方法有重要意义。

在粘连籽粒图像分割问题上,很多学者针对不同谷物提出了不同方法,如数学形态学运算^[1]、改进分水岭变换^[2-4]、利用籽粒轮廓曲率^[5-6]、椭圆曲线拟合^[7-8]、主动轮廓模式^[9]。这些算法的

收稿日期: 2008-12-30 修回日期: 2009-02-09

* 国家自然科学基金资助项目(30471011)和浙江工业大学特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室开放基金资助项目(2009EP025)

作者简介: 荀一,讲师,博士,主要从事计算机视觉检测技术研究,E-mail: xunyi@zjut.edu.cn

通讯作者: 杨庆华,教授,博士,主要从事机器人技术及机电一体化技术研究,E-mail: robot@zjut.edu.cn

研究对象为近似椭圆物体,包括米粒、稻谷、豆类、麦粒等。除了谷物籽粒之外,在粘连细胞^[10]、果实^[11]、病斑^[12]等图像分割方面也有研究。本文以玉米籽粒为对象,利用腐蚀-膨胀处理过程中形成的籽粒公共区域,提出一种基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法,实现粘连玉米籽粒图像自动分割。

1 图像采集系统构建

玉米籽粒图像采集系统如图1所示,该系统由计算机、采集箱、扫描仪、托盘组成。采集箱有上、下两层,扫描仪(型号为Epson 2480)倒置在上层,托盘放置在下层,扫描仪的玻璃平台到托盘的距离可调,在进行图像采集时,采集箱为封闭状态,以排除外界光线的干扰,托盘为长方形,可以从采集箱的下层抽出,中间的黑色区域与扫描仪的玻璃平台相对应,用于放置籽粒,大小为220 mm × 280 mm。

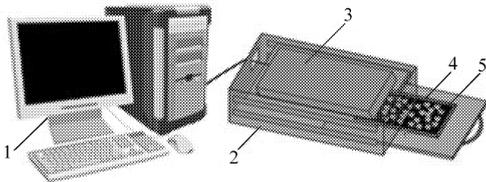


图1 玉米籽粒图像采集系统示意图

Fig. 1 Image acquisition system for corn kernels

- 1. 计算机 2. 采集箱 3. 扫描仪 4. 托盘 5. 玉米籽粒

设置扫描仪的分辨率为150 dpi,选用黑色背景,籽粒与背景有较大的灰度差异,利于图像的分割。在采集图像时,籽粒随机放置在托盘上,常会出现粘连现象,如图2a所示。图像经滤波、二值分割(图2b)、区域标记后,每一个独立的目标被单独标识出来,其中部分目标是由多个籽粒组成的,它们构成了一个连通区域,给后续籽粒的计数、个体特征分析带来错误,需要将其分割开来。

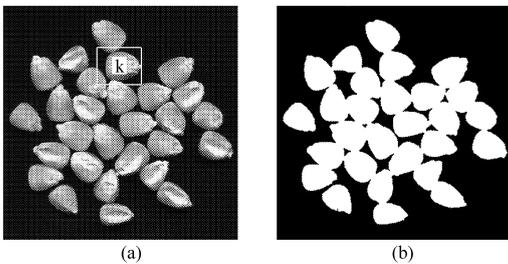


图2 粘连玉米籽粒的图像

Fig. 2 Touching corn kernels image

- (a) 原始图像 (b) 二值化图像

2 两个粘连籽粒的分割

2.1 分割点确定

对于两个粘连籽粒,粘连的类型可以分为弱连

接和强连接。分割通常采用的方法是:对图像进行连续腐蚀直到两个籽粒彻底分离,再分别对每个目标进行膨胀处理,恢复籽粒的大小,处理过程如图3所示。

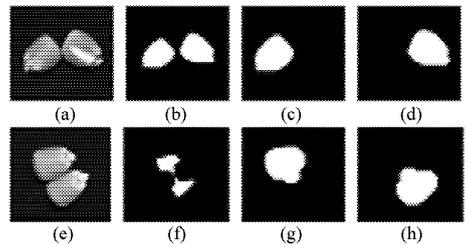


图3 两个粘连玉米籽粒图像的腐蚀与膨胀

Fig. 3 Erosion-dilation of two touching corn kernels in images

- (a) 弱连接原始图像 (b) 弱连接腐蚀图像
- (c) 弱连接左籽粒膨胀恢复图像 (d) 弱连接右籽粒膨胀恢复图像
- (e) 强连接原始图像 (f) 强连接腐蚀图像
- (g) 强连接左籽粒膨胀恢复图像 (h) 强连接右籽粒膨胀恢复图像

弱连接籽粒通过较少次数的腐蚀操作可以分离开来,再经相同次数的膨胀处理后,籽粒形状变化较小;而分割强连接籽粒需要较多的腐蚀次数,分离后的籽粒形状变化较大,这是由于籽粒经过腐蚀后,在连接处形成尖角,再分别对其进行膨胀恢复时,尖角也被膨胀,引起较大的变形。在上述方法基础上,本文提出了一种基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法。

提取两个粘连籽粒公共区域的步骤如下:①设置变量 $E_{no} = 0$,记录图像被腐蚀的次数。②采用 5×5 的圆形结构元素对图像进行一次腐蚀处理, $E_{no} = E_{no} + 1$ 。③通过区域标记统计图像中籽粒的个数 L_{no} ,若 $L_{no} = 1$,重复步骤2操作;否则说明两个籽粒被分离开来,转到步骤4。④分别对两个腐蚀后的籽粒目标 E_a 和 E_b 进行 E_{no} 次膨胀处理得到 D_a 和 D_b 。⑤计算 $D_a \cap D_b$ 得到两个籽粒的公共区域 P_{ab} 。图4a中的白色区域标识了两个籽粒的公共区域。

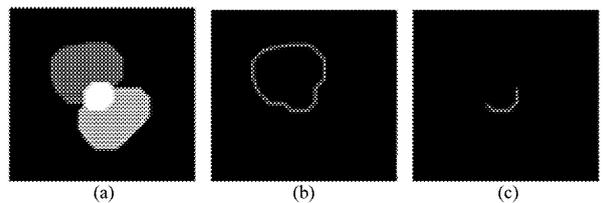


图4 分割点的确定

Fig. 4 Determination of segmentation points

- (a) 公共区域 (b) 目标轮廓 (c) 不封闭的曲线

对 D_a 或 D_b 中的任意一个目标进行8邻接边界跟踪得到目标轮廓 C (图4b);将 P_{ab} 与 C 进行交集运算得到一段不封闭的曲线(图4c),曲线的两个端点即为粘连籽粒的分割点。

2.2 画分割线

确定分割点后,通过连接分割点,画出分割线来分割粘连的玉米籽粒。采用了 Bresenham 画线算法生成分割线,其原理是:过各行、各列像素中心构造一组虚拟网格,按直线从起点到终点的顺序计算直线与各垂直网格线的交点,然后确定该列像素中与此交点最近的像素。

连接两个分割点生成分割线 L_s ,图 5a 为其局部放大图,分割线位于籽粒内部,并没有延伸至籽粒的边界,为此在两个分割点处沿直线分别向两端延伸 5 个像素(由腐蚀和膨胀使用的模板大小确定),使其能穿过籽粒边界,如图 5b 所示。

当分割线 L_s 斜率为零或不存在时,说明分割点位于图像中的同一行或同一列,延伸后的分割线可

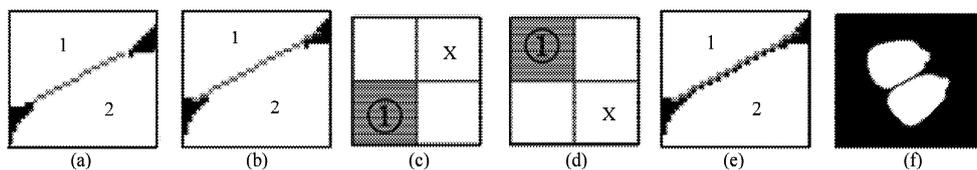


图 5 画分割线

Fig. 5 Drawing separating line

(a) 分割线 L_s (b) 延伸分割线 (c) 模板 A (d) 模板 B (e) 修正的分割线 (f) 分割结果

3 多个粘连籽粒分割

3.1 预处理

在完成两个粘连籽粒分割的基础上,进一步研究了多个粘连籽粒的分割方法。以图 2a 为例,在分离图中粘连籽粒前,需要对二值图像进行“孔洞填充”,防止后续的腐蚀运算导致图像从孔洞处分裂,产生伪目标。因此选择 3×3 的圆形结构元素对图像进行闭运算,填充目标内细小孔洞,在一定程度上抑制了伪目标的产生,增强了处理的可靠性。

3.2 单个籽粒识别

实现粘连籽粒分割,首要步骤是识别图像中粘连籽粒区域。对于一批待检测样品,通过抽样分析,可以粗略统计出较大籽粒的面积,从中选取一颗较大且完整的玉米籽粒,采集图像,计算其面积,记为 T_{A0} ,如果图像中某个目标面积大于阈值 T_{A0} ,则视为粘连籽粒区域;否则为单个籽粒。

对于大量粘连籽粒的分割,采用从局部到整体的思想,以“剥离”方式将籽粒逐个分离出来。每次对图像进行腐蚀运算,均需判断新分离出的目标中是否存在单个籽粒,若存在,则在单个籽粒的局部区域内,采用基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法,将与之相关的分割点对保存下来,并去除当前籽粒;否则继续对图像进行腐蚀。在上述处理过程

以将两个籽粒分离开,而对于斜率大于零或小于零的情形,经过以上操作后,两个籽粒目标上的部分像素在边界处仍为 8 邻接。为了使两个籽粒彻底分离,使用自定义模板 A 和 B,删除两个籽粒目标邻接的像素,模板结构如图 5c 和 5d 所示,模板中“①”表示中心点;白色方框表示目标点;“X”表示不必考虑的像素点。删除邻接点的操作分以下两种情况:

(1) 当分割线的斜率 $k > 0$,使用模板 A 沿 L_s 从左到右进行跟踪,当前点与模板相匹配时,将当前点的右邻接点设置为背景点。

(2) 当分割线的斜率 $k < 0$ 时,使用模板 B 沿 L_s 从左到右进行跟踪,当前点与模板相匹配时,将当前点的下邻接点设置为背景点。图 5e 和 5f 分别为模板运算后的局部放大图和最后的分割结果。

中,单个籽粒的正确判定是分割的关键。利用阈值 T_{A0} 可以识别出没有进行腐蚀操作前图像中的单个籽粒,但是随着图像的不断腐蚀,目标不断缩小,判断目标是否为单个籽粒的条件也应不断更新。用 5×5 圆形结构元素对选择的籽粒进行连续腐蚀,直到目标消失为止,记录每次腐蚀后籽粒的面积,作为第 n 次判断目标是否为单个籽粒的阈值 T_{An} 。

人工选择的较大籽粒很难就是最大籽粒,因此在图像中会存在一类面积稍大于 T_{An} 且为单个籽粒的目标。在处理过程中,这类目标会被当作粘连区域不断的进行腐蚀,直到消失为止,因此设定最大腐蚀次数 T_c ,若目标经过 T_c 次腐蚀后仍被判断为粘连区域,则视其为单个籽粒目标。

3.3 剥离分割

以图 2a 中的籽粒 k 为例,在以籽粒 k 为中心的局部矩形区域内,将籽粒 k 以外的目标看作一个整体,组成另外一个“籽粒”,从而转换为两个粘连籽粒分割。图 6a 为图 2a 的局部图像,经 5 次腐蚀后(图 6c),籽粒 k 分离出来;经 5 次膨胀后,籽粒 k 与其他部分形成两个公共区域(图 6d),籽粒 k 的轮廓与这两个公共区域进行交集运算后得到两段不封闭曲线(图 6e),每个曲线的端点组成一对分割点,图 6f 为画线分割结果,籽粒 k 从图像中“剥离”出来。

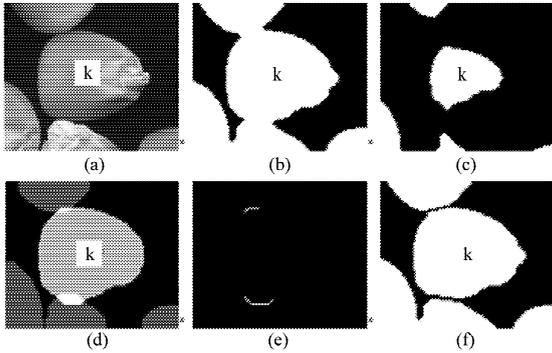


图6 单个籽粒剥离

Fig.6 Separation of single kernel

(a) 局部图像 (b) 二值图像 (c) 5次腐蚀
(d) 公共区域 (e) 交集运算 (f) 画线分割

4 试验结果与讨论

上述算法将多个粘连籽粒分割问题转换为两个粘连目标的分割,再利用基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法把腐蚀过程中出现的单个籽粒逐个剥离开来。单个籽粒的识别条件是通过试验确定的,以农大86为例,表1显示了3类籽粒在连续腐蚀过程中面积的变化。

表1 腐蚀过程中玉米籽粒面积的变化

Tab.1 Area changes of corn kernels during erosion

腐蚀次数	K1	K2	K3
0	3 010	4 065	3 045
1	2 576	3 458	2 614
2	2 173	2 881	2 213
3	1 801	2 335	1 842
4	1 461	1 829	1 505
5	1 157	1 368	1 201
6	886	<511,434>	933

表中K1为人工选择的籽粒,其所在的一列数据依次为第 n 次判断目标是否为单个籽粒的阈值;K2为粘连籽粒,经过6次腐蚀后分离为两个目标,通过面积比较可将本次腐蚀中出现的单个籽粒识别出来;K3为面积大于K1的单个籽粒,设定最大腐蚀次数 $T_c = 8$,经过8次腐蚀后,K3的面积仍大于K1的面积(为8次腐蚀后的面积),则K3被认定为单个籽粒。通过以上分析可知,算法对于K1的选取不是十分严格,以面积尽量大的单个籽粒作为标准,可以减少K3类目标处理的次数。使用该方法对图2进行粘连分割,图7为分割后的结果。

分别计算图7中每个籽粒的面积,并重新摆放图中的粘连籽粒,使得它们之间互不接触,采集图像,采用相同的图像预处理算法,并计算每个籽粒的

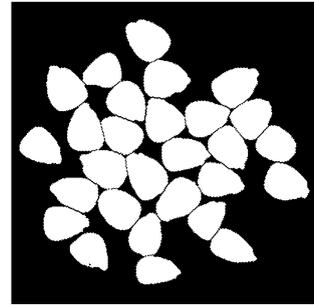


图7 分割结果

Fig.7 Segmentation result

面积,两次计算结果的相关系数为0.984,图8为两次计算籽粒面积的比较。

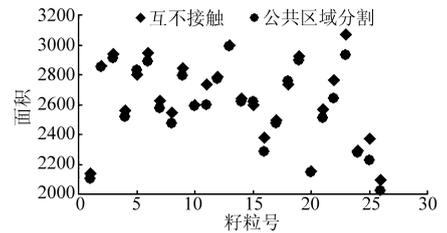


图8 籽粒面积的比较

Fig.8 Comparison of kernels area

以农大86、农大108、农大368玉米品种为试验对象,将两个或多个粘连的籽粒看作一组,对100组粘连籽粒图像进行算法测试,粘连籽粒分割正确率为96%。该算法在粘连处采用画线分割,得到的籽粒边界较为平滑,变形较小。造成粘连籽粒未被分割的原因是:两个较小的圆形籽粒粘连在一起,被识别为单个籽粒;而错误分割的主要原因是:闭运算后的二值图像中,部分籽粒仍有孔洞,在后续的腐蚀过程中,籽粒从孔洞处分裂,被分割成多个部分。

采用游程编码算法对图像进行区域标记,不仅可以获得每一个目标的面积,而且生成的游程码表中包含了每个目标像素的位置信息,通过对坐标的比较可以获得目标的水平最小外接矩形区域,后续操作限定在水平矩形区域中。在进行分割时,虽然频繁使用腐蚀和膨胀等运算量较大的操作,但是这些处理只在图像的局部区域进行,需要处理的数据量并不大,算法运行效率较高。

5 结束语

为解决粘连玉米籽粒图像的分割问题,提出了一种基于公共区域和籽粒轮廓寻找分割点的方法,对100组粘连籽粒图像进行算法测试,分割正确率为96%,得到的籽粒边界较为平滑,变形较小。实现了多个粘连玉米籽粒图像的分割。

参 考 文 献

- 1 Shahin M A, Symons S J. Seed sizing from images of non-singulated grain samples [J]. Canadian Biosystems Engineering, 2005, 47:3.49 ~ 3.55.
- 2 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 Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3):95~98. (in Chinese)
- 3 肖助明,冯月亮,李涛,等.形态学分水岭算法在重叠米粒图像分割中的应用[J].计算机工程与应用,2007,43(24):196~199.
Xiao Zhuming, Feng Yueliang, Li Tao, et al. Application of morphology watershed in segmentation of overlapping rice[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(24):196~199. (in Chinese)
- 4 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.
- 5 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,2005,27(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, 27(3):62~65. (in Chinese)
- 6 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 the Agricultural Engineering Research, 2001,79(2):159~166
- 7 Zhang G, Jayas D S, White N D G. Separation of touching grain kernels in an image by ellipse fitting algorithm [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(2):135~142.
- 8 Zhang G, Jayas D S, Deng J, et al. Separation touching grain kernel in machine vision application with Hough transform and morphological transform[C]//The CSAE/SCGR 2005 Meeting, Manitoba, Paper No. 05-006, 2005.
- 9 Wan Y C, Chou J J. Automatic segmentation of touching rice kernels with an active contour model [J]. Transactions of the ASAE, 2005, 47(5):1803~1811.
- 10 Wang W X, Song H. Cell cluster image segmentation on form analysis [C]//Proceedings of the Third International Conference on Natural Computation, 2007, Vol.4:833~836.
- 11 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 straw berry fruits [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9):164~168. (in Chinese)
- 12 张艳诚,毛罕平,胡波,等.作物病害图像中重叠病斑分离算法[J].农业机械学报,2008,39(2):112~115.
Zhang Yancheng, Mao Hanping, Hu Bo, et al. Separate algorithm for overlapping spots in crop disease image [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2):112~115. (in Chinese)