doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.09.045

利用骨架特征信息的粘连谷粒图像分割方法*

牛 杰^{1,2} 卜雄洙¹ 钱 堃³

(1.南京理工大学机械工程学院,南京 210094; 2.常州信息职业技术学院电子与电气工程学院,常州 213164;3.东南大学自动化学院,南京 210096)

摘要:针对长宽比大的粘连谷粒图像精确分割问题,提出利用图像骨架粘连点位姿信息的粘连谷粒图像分割方法, 相比常规分水岭算法提高了准确性和可靠性。在图像平滑、二值化的基础上提取谷粒的骨架信息,采用 SPT 算子 定位骨架粘连点位姿并进行粘连点延展闭合。针对不同粘连程度的谷粒图像,将本文算法与传统分水岭算法进行 了对比测试,结果表明本文算法对于复杂粘连情况具有较强的适应性。当谷粒为长宽比在1.5 以内的大豆和玉米 时,本文方法和分水岭算法效果类似。然而,当谷粒长宽比大于1.5,分水岭算法出现大量欠分割和过分割现象,识 别错误率达到75%,本文算法依然可控制在10%以内。

关键词:粘连谷粒 图像分割 骨架 长宽比

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2014)09-0280-05

引言

确定粮食类型及等级是谷物处理系统中的一个 重要环节。传统的利用人工进行分拣、评级存在着 主观性强、效率低下、易受外界条件影响等缺陷。在 此背景下,机器视觉系统被越来越多的引入到农产 品检测中^[1-3]。在谷物图像识别系统中,谷粒粘连 会影响到图像检测的准确性,传统方法一般可采用 人工摆位、特制谷物托盘、振动等措施来完成分离。 这些传统方法费时费力,不利于检测快速高效进行。 因此,利用图像处理算法进行粘连图像分割成为了 一个重要研究课题,并涌现出很多经典算法:利用轮 廓信息的分割算法^[4]、利用椭圆拟合信息进行分割 的算法^[5]、利用特定形态结构元素的形态学方 法^[6-7]等。但文献[5]中直接通过分析凹度的轮廓 来定位粘连点,精度不高,易有假阳情况出现。形态 学方法中,常利用分水岭算法进行分割^[8]。分水岭 算法及其改进算法^[9-11]具有良好的边缘检测和准 确的定位能力,在待测图像圆润、粘连重合度不高的 情况下,检测效果良好。但是当图像形状非圆润,呈 椭圆或长宽比例较大时,分水岭算法识别率显著降 低,出现大量过分割及欠分割情况。

本文提出一种基于图像骨架特征^[12-13],利用 SPT 算子定位二值图像骨架信息粘连点位姿,根据 粘连点的位姿信息进行线段延展闭合从而实现粘连 谷粒图像分割的方法。

1 材料和方法

1.1 机器视觉系统

机器视觉系统包括 1 个智能相机(NII772C型),1 个摄像机支架以及 1 块黑布。所有照片在室内正常环境光照明情况下拍摄,样品距相机 240 mm,相机采用日本康标达焦距 12 mm,光圈 F1.4 镜头。处理后图像像素为 640 × 480。视觉采 集系统中,样本与背景具有足够的对比度,灰度化后可省略常规灰度校正步骤。图像处理和边界检测采用 LabVIEW 2011 视觉工具包,该工具包集成了常见图像处理算法。视觉系统实物图如图 1 所示。



图 1 机器视觉采集系统 Fig. 1 Machine vision system

收稿日期: 2013-09-27 修回日期: 2013-10-30

^{*}国家自然科学基金资助项目(61105113)

作者简介: 牛杰,博士生,常州信息职业技术学院讲师,主要从事机器视觉、智能机器人及应用研究, E-mail: 213101000013@ njust. edu. cn 通讯作者: 卜雄洙,教授,博士生导师,主要从事智能测控系统、机器视觉研究, E-mail: buxu105@ njust. edu. cn

1.2 实验材料

实验所用玉米、大豆及大米购于南京市农贸市 场。大豆为普通黄豆(平均长宽比1.33),玉米为普 通粘玉米(平均长宽比1.25),大米为袋装长粒泰国 香米(平均长宽比3.5)。谷物手工粘连摆放于黑色 背景上,置于1.1节描述的视觉系统中,以模拟实际 检测系统的2个或多个谷粒粘连情况。

1.3 图像预处理及二值化

由于图像在普通室内采集,不可避免会混有噪 点,为防止在后续骨架化过程中引入噪点图像,文中 采用矢量中值滤波方法^[14]对图像进行平滑操作。 设原始图像集合X(i,j)的大小为 $M \times N$,用一个 $n \times n$ 窗口滤波,求出 $R \ G \ B \ 3$ 通道平均值,再求出平均 矢量 \overline{X} 。计算最小矢量距离 S_{\min} 。

$$\begin{cases} \bar{r} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \frac{r(i,j)}{n^2} \\ \bar{g} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \frac{g(i,j)}{n^2} \end{cases}$$
(1)

$$\begin{bmatrix} \overline{b} &= \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \frac{b(i,j)}{n^{2}} \\ \overline{\mathbf{v}} & [\overline{b}(i,j)]^{\mathrm{T}} \end{bmatrix}$$
(2)

$$\mathbf{X} = \lfloor r(i,j), g(i,j), b(i,j) \rfloor$$
(2)
$$S_{\min} = \min(\|\mathbf{X}(i,j) - \overline{\mathbf{X}}(i,j)\|)$$
(3)

进而得到其对应像素 X_{min},并用之代替窗口中 心像素向量,完成滤波。灰度化图像进行二值化处 理,二值化可采用阈值法对其进行操作,文中样本谷 粒图像之间梯度信息差别较小,同时自然光也存在 一定程度的不均匀性,故本文采用文献[12]的算法 对图像进行二值化操作,该方法可以有效发现最优 分割阈值,对于光线变化具有一定的鲁棒性。二值 化后的图像经5×5圆形模板进行闭操作,消除孔 洞。最终效果如图2所示。



Fig. 2 Binarization of kernel images (a) 灰度图 (b) 二值图像

1.4 骨架化图像

为得到有效的谷粒图像骨架信息,本文改进了 单次细化骨架提取算法^[15]。定义图像像素点 P 及 标志位 Q 逐一对应,结构如图 3 所示,具体步骤包括:

P_1	P_2	P_3	Q_1	Q_2	Q_3
P_8	P_0	P_4	Q_8	Q_0	Q_4
P_7	P_6	P_5	Q_7	Q_6	Q_5
	(a))		(b))

图 3 图像像素及标志结构图

Fig. 3 Structure diagram of pixel and flag map(a) 图像像素符号 (b) 模板像素符号

(1) 针对图像中每一个像素点 P_0 , 计算 $P_N(P_0) \ C_N(P_0) \ T_{\text{trans}}(P_0);$ 如果 P_0 满足条件 1 以 及条件 2 和条件 3 中的一个。标记该点, 对应 Q_0 值 设置为 0。删除 P_0 点。

(2)移除谷粒颗粒图像中孤立点像素。

(3)重复步骤(1)及步骤(2)直到图像像素值 不发生改变为止。

条件1:6 > C_N(P₀) >1;条件2:T_{trans}(P₀) =1; 条件3:P₀及其邻域为图4所示模板(*代表任意 值)中任何一个。

$$P_{N}(P_{0}) = \sum_{i=1}^{8} P_{i}$$
 (4)

$$C_N(P_0) = \sum_{i=1}^{\circ} (P_i Q_i)$$
 (5)

式中 Q---标志位,初始值为1,被标记后为0

$$T_{\text{trans}}(P_0) = \sum_{i=1}^{8} C_{\text{count}}(P_i)$$
 (6)

 $C_{\text{count}}(P_i) = \begin{cases} 1 & (P_i Q_i = 0 \perp P_{i+1} Q_{i+1} = 1) \\ 0 & (\ddagger \&) \end{cases}$ (7)

*	1	0	0	1	0	0	1	*	0	0	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
0	0	0	0	0	*	0	1	0	*	1	0
0	0	0	*	0	0	0	1	0	0	1	*
1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	*	0	1	0	*	0	0	0	0	0

图 4 细化算法中的匹配模板

```
Fig. 4 Templates used in thinning algorithm
```

算法处理后粘连图像骨架提取效果如图 5 所 示。

1.5 粘连点定位

在骨架图像中,线段端点一般可以认为是可能 粘连点。形态学中,可以使用 hit-or-miss^[16]操作来 检测。文中基于后续闭合线段的考虑,提出一种基 于骨架像素信息的检测算子(SPT algorithm)。首先 定义一个 *n*×*n* 的数组作为覆盖核来检测图像。以 最简单的 3×3 结构为例,数组中 0 代表线段点,1 代表背景信息。当数组或其镜像、旋转图满足如



图 5 谷粒图像骨架化 Fig. 5 Skeleton of kernel images (a) 谷粒骨架 (b) 骨架图覆盖效果

图 6 所示情况时,认为检测到粘连点(中心点位 置)。

1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0

图 6 粘连点基本特征结构元素

Fig. 6 Definition of endpoint structuring element

算法定义 8 个粘连点闭合方向(左上、上、右 上、右、右下、下、左下、左)。并同时以该点为圆心 反方向扩展核大小,查找拟合 0 值点以便检测其线 段方向。以一个简单的 5 × 5 扩展拟合前进方向为 例,如图 7 所示。

*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	1	1	1	*	*	1	1	1	*	*	1	1	1	*
*	1	Ø	1	*	*	1	0	1	*	*	1	0	1	*
*	1	0	0	*	*	1	0	1	*	*	0	0	1	*
1	1	1	Ø	1	1	1	0	1	1	0	$\overline{1}$	1	1	1

图 7 利用 5 × 5 扩展核拟合线段方向

Fig. 7 Using 5×5 structuring element to fit direction

1.6 闭合粘连点

在得到粘连点的坐标及可能方向后,如果按照 方向延长粘连点,通过判断相交来闭合线段。当基 准粘连点与待连接点距离过大时,会导致连接不成功。 当基准点与待连接点距离过大时,会导致跨区域连 接问题。本文设计出一种粘连点线段闭合方法,针 对每一个待分析基准粘连点,设定寻找固定范围 (文中算法设定像素距离小于单个谷粒大小)内的 粘连点集合,然后对待选粘连点进行判断,如果待选 粘连点的方向与该基准粘连点方向满足拟合曲线相 交角度在135°~180°范围内,按照先方向后距离的 原则,即相交方向(180°为最优),距离小为优。选 择粘连连接点。按照运动方向平滑连接两点,成功 构成一个封闭线段,否则不采取任何动作。流程如 图 8所示。图9所示为该算法用于粘连点闭合连接 的效果图。



图 8 闭合粘连点算子流程图





图 9 闭管填冗育采柏建点
 Fig. 9 Line filling of touching point
 (a) 原始谷粒 (b) 谷粒骨架 (c) 骨架粘连点连接图

2 结果与讨论

通常分水岭改进算法只能改善欠分割和过分割 情况,对于谷粒长宽比大的情况,由于其算法本身限 制,改进效果不明显。以谷粒4边为基准参考,小于 等于2边粘连为低粘连,3边规则粘连为中粘连,3 边无序及4边以上粘连为高粘连。针对固定尺寸、 不同形状及粘连度的谷粒,使用常规分水岭分割算 法与利用骨架信息的粘连谷粒图像分割方法性能进 行对比。不同粘连度结果部分局部放大图如图 10~12 所示。



图 10 低粘连度图像算法效果对比 Fig. 10 Comparison of effect of low adhesion degree (a) 原图 (b) 二值图 (c) 分水岭算法 (d) 本文算法

对 3 种不同粘连度各 30 幅,每幅包含 200 粒左 右谷粒的粘连图像进行分割以检验算法的有效性。 计算不同粘连度下 3 类谷粒粘连图像本文算法和分 水岭算法分割错误率进行对比







图 12 高粘连度图像算法效果对比 Fig. 12 Comparison of effect of high adhesion degree (a) 原图 (b) 二值图 (c) 分水岭算法 (d) 本文算法

Nover——过分割像素数

N_{under}——欠分割像素数

N_{total}——图像目标像素总数

统计结果如表1所示,不同粘连度情况下,当谷物形态为类圆形的黄豆、玉米时,本文算法和分水岭分割算法都有着良好的分割识别率。错误率均在5%以内。其中,由于玉米样本边缘不规则,本文算法和分水岭法在中粘连度实验中存在少量的过分割。然而,当图像形态为扁长形大米时,分水岭算法 对不同粘连度程度的样本都出现了识别率下降,甚至出现了大量过分割和欠分割情况。在高粘连度时,分水岭算法分割错误率达到75%左右。相同情况,本文算法只有少量过分割情况出现。错误率控制在10%以内,最终分割目标误判率小、分割效果

表1 谷物粘连图像分割错误率

Tab.1 Error rates of touching kernel images segmentation

公脑抽米	匕寅山	*上本 庄	错误率/%			
合物种失	、见儿	帕廷皮	分水岭方法	本文方法		
		低	2.53	1.83		
黄豆	1.33	中	2.60	1.92		
		高	2.65	1.95		
	1.25	低	3.24	3.31		
玉米		中	3.65	3.53		
		高	3.95	3.89		
		低	50.86	3.65		
大米	3.50	中	68.73	5.78		
		高	74.97	8.63		

良好,表明了本文算法在分割效果上的优越性。

3 结论

(1)粘连图像自动分割技术是谷粒特征分析的基础,当谷粒形状趋于椭圆及长宽比较大时,通常的形态学的分水岭分割方法已不适用,会出现大量欠分割或过分割的情况。

(2)针对长宽比例较大的谷粒形状,利用二值 化粘连谷粒图像的骨架信息,找到图像粘连点的坐 标及方向信息,按照先方向后距离的原则,在固定范 围内,逐一进行线段平滑闭合,从而实现粘连图像分 割。实验表明该方法对于长宽比较大的粘连谷粒图 像分割有着较好的识别效果,对于相对复杂的粘连 情况,该方法也具有一定的适应性。对粘连谷粒的 分割实验中,当谷粒长宽比大于1.5时,传统分水岭 分割算法识别错误率达到75%,本文方法依然可以 控制在10%以内。

参考文献

- 1 王福杰, 饶秀勤, 应义斌. 苹果图像的背景分割与目标提取[J]. 农业机械学报, 2013,44(1):196-199,210.
- Wang Fujie, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Background segmentation and object extraction of apples images [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(1):196-199,210. (in Chinese)
- 2 李红军,张立周,陈曦鸣,等.应用数字图像进行小麦氮素营养诊断中图像分析方法的研究[J].中国生态农业学报, 2011,19(1):155-159.

Li Hongjun, Zhang Lizhou, Chen Ximing, et al. Image analysis method in application of digital image on diagnosing wheat nitrogen status [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(1): 155 – 159. (in Chinese)

- 3 Shahin M, Symons S. Lentil type identification using machine vision [J]. Canadian Biosystems Engineering, 2003, 45: 3.5 3.11.
- 4 Al-diri B, Hunter A, Steel D. An active contour model for segmenting and measuring retinal vessels [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2009, 28(9): 1488 - 1497.
- 5 Bai Xiangzhi, Sun Changming, Zhou F. Splitting touching cells based on concave points and ellipse fitting [J]. Pattern Recognition, 2009, 42(11): 2434 - 2446.
- 6 荀一,鲍官军,杨庆华,等.粘连玉米籽粒图像的自动分割方法[J].农业机械学报,2010,41(4):163-167. Xun Yi, Bao Guanjun, Yang Qinghua, et al. Automatic segmentation of touching corn kernels in digital image[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(4):163-167. (in Chinese)
- 7 Mukhopadhyay S, Chanda B. Multiscale morphological segmentation of gray-scale images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(5): 533-549.
- 8 Meyer F, Beucher S. Morphological segmentation [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1990, 1(1): 21-46.
- 9 Tarabalka Y, Chanussot J, Benediktsson J A. Classification based marker selection for watershed transform of hyperspectral images [C] //2009 IEEE International, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2009, 2009,3: III - 105 - III - 108.
- 10 Kaleem M, Sanaullah M, Hussain M A, et al. Segmentation of brain tumor tissue using marker controlled watershed transform method[M] // Chowdhry B S, Shaikh F K, Hussain, D M A, et al. Emerging Trends and Applications in Information Communication Technologies, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2012: 222 - 227.
- 11 王开义,张水发,杨锋,等.基于分水岭和改进 MRF 的马铃薯丁粘连图像在线分割[J]. 农业机械学报,2013,44(9):187-192.

Wang Kaiyi, Zhang Shuifa, Yang Feng, et al. Online segmentation of clustering diced-potatoes using watershed and improved MRF algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(9):187 - 192. (in Chinese)

- 12 Brink A D, Pendock N E. Minimum cross-entropy threshold selection [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 179-188.
- 13 Liu L, Chambers E W, Letscher D, et al. A simple and robust thinning algorithm on cell complexes [J]. Computer Graphics Forum, 2010,29(7): 2253-2260.
- 14 王津京,赵德安,姬伟,等.采摘机器人基于支持向量机苹果识别方法[J].农业机械学报,2009,40(1):148-151.
 Wang Jinjing, Zhao Dean, Ji Wei, et al. Apple fruit recognition based on support vector machine using in harvesting robot[J].
 Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 148-151. (in Chinese)
- 15 Zhou R W, Quek C, Ng G S. A novel single-pass thinning algorithm and an effective set of performance criteria [J]. Pattern Recognition Letters, 1995, 16(12): 1267 - 1275.
- 16 Stankov K, He D-C. Building detection in very high spatial resolution multispectral images using the hit-or-miss transform [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(1): 86-90.

21 王运昌. 地形测量学[M]. 北京:冶金工业出版社,1993:328-329.

- 22 Calvin R, Qi Rensheng, Vijay R. A linear time algorithm for computing exact euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(2): 265 - 270.
- 23 Nadernejad E, Sharifzadeh S, Hassanpour H. Edge detection techniques: Evaluation and comparisons[J]. Applied Mathematical Sciences, 2008, 2(31): 1507 – 1520.
- 24 Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 3 版. 阮秋琦,等,译. 北京:电子工业出版社,2011.
- 25 Neeta N, Vijay L, Bhavitavya B, et al. Corner detection using difference chain code as curvature [C] // Proceedings of 3rd International IEEE Conference on Signal-image Technologies and Internet-based System, 2007: 821-825.

Method of Image Segmentation for Touching Maize Kernels

Liu Guanyi Liu Pingyi Wei Wenjun Zhang Shaoying Li Haitao (College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: With the aim to give a more accurate computing result of the maize kernel number based on image analysis, a new segmentation method for touching maize kernels was provided. First, contour smoothing and the Euclidean distance transformation were applied to the binary image of the touching kernels. Then the distance map was regarded as topographic relief and the valley lines were detected as the segmentation lines. Considering the boundary pixels of the distance map as water heads, the water will flow forward. They will turn when facing a slope and will go on when facing a valley mouth according to the terrain of the valley. This results in the segmentation. This method will take no influence on single kernels, so does not need a touching estimate by manual input threshold before segmentation. An experiment to 442 connected components of single kernels and multi-touching kernels shows an accuracy of 99.7% for touching estimation and 94.9% for touching kernels segmentation.

Key words: Maize kernels Touching Image segmentation Mathematical morphology Watersheds Region growing

(上接第284页)

Touching Corn Kernels Based on Skeleton Features Information

Niu Jie^{1,2} Bu Xiongzhu¹ Qian Kun³

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

School of Electrical and Electronic Engineering, Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China
 School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The segmentation method based on Watershed algorithm is inefficient when the object has a much higher aspect ratio. This paper presents an automatic separation procedure of touching kernel images based on their skeleton features. First the images were preprocessed by the vector median filter to get the smoothing images. Then the improved single-pass thinning algorithm was adopted to abstract binary image skeleton. After getting the pose of possible adhesive points with SPT algorithm, each endpoint of skeleton lines concluded and corrected recursively according to the direction and distance. The algorithm was tested for different grain types under different touching scenarios and was successful in separating more than 90% of the touching grains when classical watershed methods allow only to segment 25% of the high length to width ratio (>1.5) grains. The algorithm appears to be robust to separate touching scenarios where the kernels have different length-width ratio.

Key words: Touching kernels Image segmentation Skeleton Aspect ratio