

# 玉米果穗粘连籽粒图像分割方法\*

柳冠伊 刘平义 魏文军 张绍英 李海涛

(中国农业大学工学院,北京 100083)

**摘要:** 为了对基于图像的玉米果穗穗粒数进行更精确的计算,给出了一种新的粘连籽粒图像分割方法。对粘连二值图像进行轮廓平滑和欧氏距离变换,将粘连籽粒的距离变换图视为地形学上的地形图,以地形图中的山谷线作为粘连二值图像的分割线。将欧氏距离变换图像的边界像素点视作水源点,根据山谷形态两边高、中间低的地形趋势设定水流的行进规则,使得水流在遇到山坡时自动绕行,但在遇到谷口点时可沿山谷线流动,从而将粘连籽粒分割开。该方法对单个未粘连籽粒不产生影响,不必在分割操作前依靠人工设定阈值进行籽粒是否粘连的判断,可以作为籽粒是否存在粘连的判断方法。用该方法对 442 个含不同粘连情况的籽粒连通分量进行判断与分割测试,粘连判断准确率为 99.7%,粘连籽粒的分割准确率为 94.9%。

**关键词:** 玉米籽粒 粘连 图像分割 数学形态学 分水岭 区域生长

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0285-06

## 引言

计算机图像处理的第一步往往是对图像进行分割操作,将研究对象从图像背景中分离出来,随后进行对象的特征提取并进行图像分析<sup>[1]</sup>。在粮食籽粒、医学细胞等图像的处理中,由于对象粘连、重叠等原因,往往不能实现完整有效的分割。于是,针对不同的情况,学者们提出各种粘连图像的分割方法,主要有腐蚀膨胀结合法<sup>[2-6]</sup>,基于分水岭的改进算法<sup>[7-11]</sup>,形状特征匹配法<sup>[12-14]</sup>,轮廓凹点检测法<sup>[15-18]</sup>等。这些方法实现过程中多需要针对研究对象的特点利用经验参数进行控制,如设定面积阈值判断籽粒是否粘连,腐蚀过程中设定腐蚀次数等。

采用线阵扫描方式获得玉米果穗表面 360° 展开图,便于进行整穗穗粒的计数<sup>[19]</sup>。在使用 Otsu 法阈值分割获得二值图像后,由于部分籽粒接触较密,二值图像中籽粒粘连在一起,影响了籽粒计数精度。本文针对此情况,给出一种新的粘连玉米籽粒图像分割方法,且该方法能够同时对籽粒是否粘连进行判断。

## 1 分割原理

### 1.1 算法原理

广泛应用的分水岭算法<sup>[20]</sup>,将数字灰度图像视

作地形图,数字图像中每一个像素的像素值代表其位置的海拔高度,并把地形学上的分水岭引入数字图像中,以分水岭(又叫分水线或山脊线)作为图像分割线。当雨水落到分水岭的一侧,便会沿山坡向下流动,在山谷最低处汇集,因此山谷线又称汇水线,谷地出口处的最低点称为谷口<sup>[21]</sup>。玉米果穗籽粒图像基本上呈椭圆形,籽粒轮廓具有凸边界,且在果穗上的排列较整齐。这样,粘连籽粒二值图像在欧氏距离变换<sup>[22]</sup>后可以形成较明显的山谷线。在数字图像中标记出连续的山谷线便可以作为粘连图像分割线。

山谷线处的截面特征类似于边缘检测中的屋顶边缘模型特征,但是边缘检测难以检测出连续的边缘<sup>[23]</sup>。区域生长算法<sup>[24]</sup>用于图像中相似特征的分割,其迭代生长的思想使得新的标记像素总与已标记像素邻接,分割是连续的,但其生长准则无法自动确定,且并不适合粘连对象分割。

综合分水岭算法的形态学概念与区域生长算法迭代生长的思想,提出一种新的图像分割方法。对粘连二值图像进行欧氏距离变换,得到距离图,将距离图的每一个边界像素点视作一个水源点,相当于分水岭算法或区域生长算法中的种子点,从每一个水源点产生一条水流,这些水流在遇到山坡时绕行,但可沿山谷线流过,于是将粘连籽粒分割(图 1)。

收稿日期: 2013-09-18 修回日期: 2013-10-10

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD31B09)

作者简介: 柳冠伊,博士生,主要从事机械设计及理论研究,E-mail: 3-3skateliu@qq.com

通讯作者: 李海涛,副教授,博士生导师,主要从事机械设计及理论研究,E-mail: lihaitao0402@163.com

其中,每一条水流都是种子点按生长规则的生长。

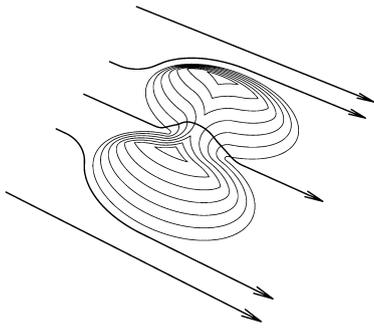


图1 本文方法概念示意图

Fig.1 Sketch map of the proposed method

设二值图像  $I_B(x, y)$ ,  $x = 1, 2, \dots, M$ ,  $y = 1, 2, \dots, N$ , 其中  $M$  为行像素数,  $N$  为列像素数;  $I_B(x, y)$  中有一个包含粘连籽粒的连通分量, 设对象值为 1, 背景值为 0。对二值图像进行欧氏距离变换得到距离图  $I_D(x, y)$ 。

建立  $N$  个与  $I_B(x, y)$  同尺寸且像素值全为 0 的标记图像  $I_i(x, y)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ 。并设计如图 2 所示模板  $T$ , 以  $X$  为模板中心, 令模板  $T$  在距离图  $I_D(x, y)$  上方移动, 设  $X$  点所在位置坐标为  $(a, b)$ , 其中  $1 \leq a \leq M, 1 \leq b \leq N$ , 则 A、B、C、D、E 位置处坐标分别为  $(a + 1, b - 1)$ 、 $(a + 1, b)$ 、 $(a + 1, b + 1)$ 、 $(a, b - 1)$  和  $(a, b + 1)$ 。

D	X	E
A	B	C

图2 模板  $T$

Fig.2 Mask  $T$

因为本文处理的玉米籽粒的粘连凹点(即谷口点)处在竖直方向分布, 所以仅将第一行像素点作为水源点。将标记图像  $I_i(x, y)$  的  $(1, i)$  位置处像素标记为水源点  $o_i$ , 即令  $I_i(1, i) = 1$ 。按如下规则对水流进行生长标记(IF 后面的内容代表判断条件, THEN 后内容代表执行的操作,  $\leftarrow$  为赋值符号,  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ 、 $V_D$ 、 $V_E$  分别代表模板  $T$  下方的距离图  $I_D(x, y)$  相应位置处的像素值)。

- (1) IF  $V_A = V_B = V_C = 0$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$
- (2) IF  $V_A < V_B \leq V_C$   
IF  $V_D < V_A$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b - 1$   
IF  $V_D \geq V_A$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b - 1$
- (3) IF  $V_A \geq V_B > V_C$   
IF  $V_E < V_A$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b + 1$

IF  $V_E \geq V_A$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b + 1$

- (4) IF  $V_A = V_B < V_C$   
IF  $V_D < V_A$   
IF  $I_i(a, b - 1) = 1$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$   
IF  $I_i(a, b - 1) \neq 1$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b - 1$   
IF  $V_D \geq V_A$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$

- (5) IF  $V_A > V_B = V_C$   
IF  $V_E < V_C$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b + 1$   
IF  $V_E \geq V_C$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b + 1$

- (6) IF  $V_A > V_B < V_C$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$

- (7) IF  $V_A = V_B = V_C \neq 0$   
IF  $V_D < V_A$   
IF  $I_i(a, b - 1) = 1$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b + 1$   
IF  $I_i(a, b - 1) \neq 1$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b - 1$

- IF  $V_D \geq V_A$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$

- (8) IF  $V_A < V_B \& V_C < V_B$   
IF  $V_D < V_A$   
THEN  $a \leftarrow a, b \leftarrow b - 1$   
IF  $V_D \geq V_A$   
THEN  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b - 1$

将各条水流合并得到标记图像  $I_S = I_1 \cup I_2 \cup \dots \cup I_N$ , 分割后的图像  $I_F = \bar{I}_S \& I_B$  ( $I_S$  取反后与  $I_B$  进行与运算)。

上述判断条件的基本目的是使水流向地势低的地区流动, 如果水流位于 V 型沟槽时则向沟槽方向流动, 即沿山谷线方向流动。对其中规则(4)和(7)进行附加说明如下。

图 3 为距离图  $I_D(x, y)$  中粘连籽粒对象粘连凹点处局部特征, 即谷口处局部特征, 设 0 为背景像素

	$p_1$	$p_2$	
1	0	0	1
$g$	1	1	$g$

(a)

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	
1	0	0	0	1
$g$	1	1	1	$g$

(b)

图3 粘连凹点局部特征

Fig.3 Local features of the pits

(a) 粘连凹点局部特征 1 (b) 粘连凹点局部特征 2

值,1 和  $g$  为籽粒对象像素值,其中  $g \geq 1$ 。

因为标记图像  $I_i(x, y), i = 1, 2, \dots, N$ , 即水流从第 1 列依次流出, 在图 3a 中, 会先有水流流到  $p_1$  处, 按规则(5), 水流流到  $p_2$  处, 此时  $V_A = V_B < V_C, V_D < V_A$  符合规则(4)的判断条件, 如果不添加判断条件  $I_i(a, b - 1) = 1$ , 标记点又将变为  $p_1$ , 这样的话, 程序将陷入无限循环之中。如果判断条件  $I_i(a, b - 1) = 1$  满足, 说明水流已经进入谷口地区, 使其向山谷方向流动, 令  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$ 。

图 3b 中, 水流先到达  $p_1$  处, 按规则(5), 水流将流到  $p_2$  位置。此时,  $V_A = V_B = V_C \neq 0$ , 且  $V_D < V_A$ , 为了不使水流再次流动到  $p_1$ , 而进入死循环, 所以在规则(7)中添加判断条件  $I_i(a, b - 1) = 1$ , 使流水流向  $p_3$  点, 然后判断条件(4)使得  $a \leftarrow a + 1, b \leftarrow b$ , 水流开始向山谷流动。

### 1.2 算法示例

为了对该算法的实现进行简单的示意说明, 以图 4 为一个简单的粘连籽粒模型。模型中数值为距离图  $I_D(x, y)$  各像素点所对应的像素值。其中一条水流的流动路径如图 4 中所标示, 其刚好穿过了对象粘连部位, 完成了粘连分割。

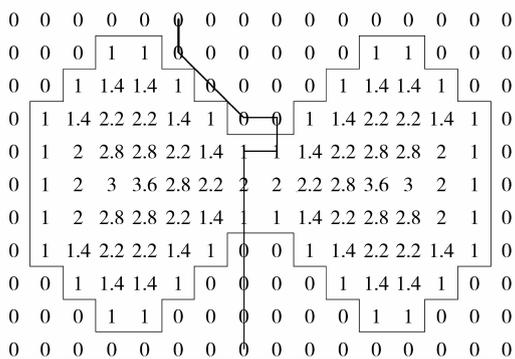


图 4 算法示例

Fig. 4 Example of the algorithm

图 5 显示了实际粘连籽粒分割的操作过程。

(1) 图 5a 中有一个存在两籽粒粘连的连通分量, 因连通分量边缘较粗糙, 采用文献[25]方法对其边缘进行平滑, 防止噪声对分割结果造成影响。平滑结果如图 5b。

(2) 对图 5b 进行欧氏距离变换得距离图如图 5c 所示。

(3) 按照本文所给的算法, 对图 5c 进行处理, 分割结果如图 5d 所示。

对多个粘连籽粒的分割结果如图 6。

## 2 实验

### 2.1 实验内容

本文所处理对象的原始图像由改装后的 CCD

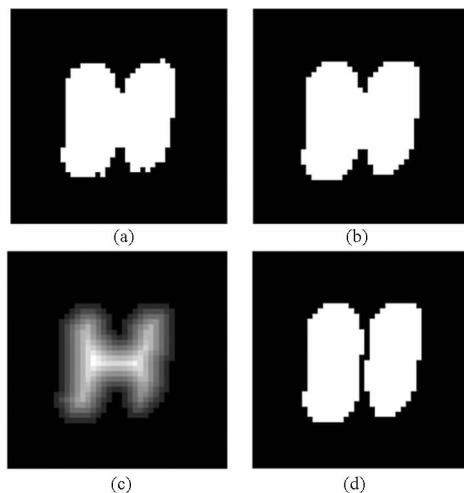


图 5 粘连籽粒分割

Fig. 5 Segmentation of touching maize kernels

(a) 原始粘连籽粒 (b) 平滑后粘连籽粒  
(c) 距离图 (d) 分割结果

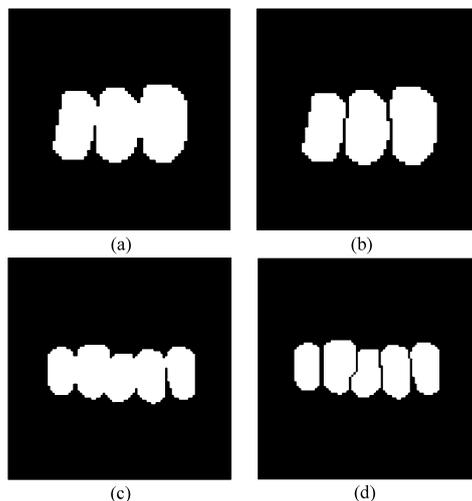


图 6 多籽粒粘连分割

Fig. 6 Segmentation of connected components of multiple kernels

(a) 3 籽粒粘连 (b) 3 籽粒粘连分割结果  
(c) 5 籽粒粘连 (d) 5 籽粒粘连分割结果

平板扫描仪采集, 扫描仪型号为 BearPaw 1200, 由 MUSTEK(鸿友)公司生产。光源为扫描仪自带冷阴极荧光灯。扫描分辨率设定在 100 dpi, 单次扫描时间 30 s。原始图像尺寸为 794 像素 × 1 165 像素。

为了对本文的分割方法进行实验验证, 人工调低分割时的分割阈值以获得更多的包含粘连籽粒的连通分量, 共获得 442 个连通分量(图 7)。对这 442 个具有不同籽粒粘连情况的连通分量采用本文方法进行处理, 对处理后的对象重新以 4 邻接计算连通分量<sup>[24]</sup>, 且如果一个连通分量在处理后的新的连通分量个数仍为 1, 则说明原连通分量只包含一个籽粒, 不存在粘连。将结果与实际籽粒个数进行对比, 粘连判断与分割结果数据如表 1 所示。籽粒粘连判

断准确率为 99.7%，粘连籽粒平均分割正确率为 94.9%。

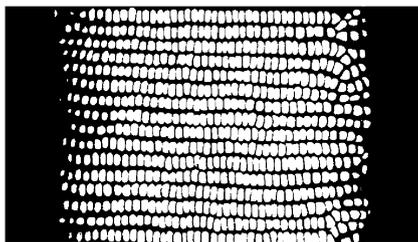


图 7 用于实验的连通分量

Fig. 7 Connected components used for experiments

表 1 识别与分割结果

Tab. 1 Results of detection and segmentation

籽粒粘连情况	个数	正确识别或分割个数	准确率/%
单粒	325	324	99.7
2粒粘连	49	47	95.9
3粒粘连	48	45	93.8
4粒粘连	16	15	93.8
5粒粘连	3	3	100
7粒粘连	1	1	100

在文献[19]所使用的籽粒计数方法基础上,对籽粒二值图像进行噪点滤除并采用本文粘连分割方法进行进一步处理,对 20 穗玉米果穗进行计数实验,得到的计数准确率为 96.1%,较不进行粘连籽粒处理的 94.3% 准确率提高 1.8 个百分点(表 2)。

表 2 籽粒计数对比实验结果

Tab. 2 Comparison of kernel counting precision

果穗编号	实际穗粒数	原计数法		新计数法	
		穗粒数	准确率/%	穗粒数	准确率/%
1	283	295	95.9	282	99.3
2	196	212	92.5	211	92.9
3	540	544	99.3	509	93.5
4	375	327	87.2	419	91.9
5	283	295	95.9	299	97.3
6	336	333	99.1	339	99.7
7	574	467	81.4	598	97.0
8	279	304	91.8	234	82.8
9	478	427	89.3	497	97.4
10	511	478	93.5	506	98.0
11	549	510	92.9	546	98.4
12	560	516	92.1	566	99.6
13	569	544	95.6	599	96.0
14	527	515	97.7	528	99.1
15	508	495	97.4	489	95.9
16	422	427	98.8	439	96.1
17	264	278	95.0	268	98.5
18	521	561	92.9	534	97.6
19	420	421	99.8	413	98.3
20	651	639	99.2	601	92.3
平均			94.3		96.1

## 2.2 实验分析

从表 1 的数据中,可以看到本文方法对不同个数的籽粒粘连都较好的进行了分割,且从单粒非粘连籽粒的识别效果来看,该方法可以对连通分量是否存在粘连籽粒进行很好的判断。

从实验结果发现,小部分粘连籽粒中除粘连处形成的凹点外还存在其他非粘连形成的凹点,此时会产生过分割(图 8a、图 8b)。实际玉米果穗表面籽粒轮廓是平滑的,图像中的粗糙轮廓边缘主要由数字图像的特点及图像中噪声引起。可以寻找其他更合适的边界平滑算法对粘连籽粒轮廓进行平滑,以消除干扰凹点,实现更准确的粘连分割。当粘连面积过大,粘连凹点不明显,也会造成错误分割(图 8c、图 8d)。

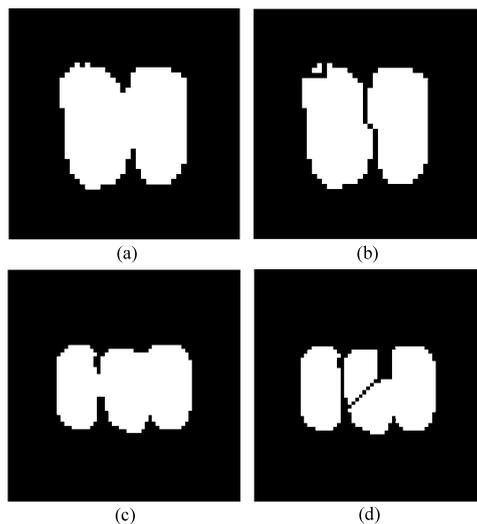


图 8 错误分割情况

Fig. 8 Conditions of wrong segmentations

(a) 存在非粘连凹点的粘连籽粒 (b) 错误分割结果  
(c) 粘连凹点不明显的粘连籽粒 (d) 错误分割结果

粘连籽粒分割处理的加入使得玉米果穗籽粒计数平均准确率得以提高,但其中果穗 3、8、15、16、19、20 籽粒计数准确率有降低,可能是果穗籽粒表面不规整导致二值化后非籽粒噪声点较多引起的。

## 3 结论

(1) 针对玉米果穗线阵扫描图像粘连籽粒分割的问题提出了一种全新的分割方法,该方法结合了分水岭算法的形态学概念和区域生长算法的迭代生长思想,给出了粘连分割的一种新思路。

(2) 该方法在进行粘连籽粒分割的同时还可以进行连通分量是否存在粘连籽粒的识别,且不需要参数控制。对粘连籽粒的分割实验中得到 94.9% 的分割准确率,且使玉米果穗籽粒计数准确率提高 1.8 个百分点。

## 参 考 文 献

- 1 Erik M. Cell segmentation: 50 years down the road[J]. *Signal Processing Magazine IEEE*, 2012, 29(5): 140 – 145.
- 2 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)
- 3 李永锋, 周德祥, 邢超, 等. 基于数学形态学的粘连大米籽粒分割研究[J]. *农业网络信息*, 2010(10): 18 – 21.  
Li Yongfeng, Zhou Dexiang, Xing Chao, et al. Study on rice grain image segmentation based on mathematical morphology[J]. *Agriculture Network Information*, 2010(10): 18 – 21. (in Chinese)
- 4 周德祥, 毋桂萍, 杨红卫, 等. 基于数学形态学粘连粮食籽粒图像分割算法的改进[J]. *农机化研究*, 2010, 32(7): 49 – 52.  
Zhou Dexiang, Wu Guiping, Yang Hongwei, et al. The improvement of adhesive grain particles image segmentation algorithm based on the mathematical morphology[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2010, 32(7): 49 – 52. (in Chinese)
- 5 黄文明, 陈庆全, 陆荣. 一种改进的重叠细胞图像分割研究[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(26): 163 – 165.  
Huang Wenming, Chen Qingquan, Lu Rong. Improved research for overlapping cell images segmentation [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(26): 163 – 165. (in Chinese)
- 6 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(9): 164 – 168. (in Chinese)
- 7 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)
- 8 潘晨, 闫相国, 郑崇勋. 一种分割重叠粘连细胞图像的改进算法[J]. *中国生物医学工程学报*, 2006, 25(4): 390 – 395.  
Pan Chen, Yan Xiangguo, Zheng Chongxun. An improved segmentation algorithm for clustered cells [J]. *Chinese Journal of Biomedical Engineering*, 2006, 25(4): 390 – 395. (in Chinese)
- 9 张小京, 郭万有, 孙万蓉, 等. 基于骨髓细胞图像的流域分割新算法[J]. *生物医学工程研究*, 2005, 24(3): 153 – 157.  
Zhang Xiaojing, Guo Wanyou, Sun Wanrong, et al. A new watershed segmentation algorithm based on cells in marrow [J]. *Journal of Biomedical Engineering Research*, 2005, 24(3): 153 – 157. (in Chinese)
- 10 肖助明, 冯月亮, 李涛, 等. 形态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 Yuefang, Li Tao, et al. Application of morphology-watershed in segmentation of overlapping rices [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(24): 196 – 199. (in Chinese)
- 11 陈小梅, 倪国强, 刘明奇. 基于分水岭算法的红外图像分割方法[J]. *光电子·激光*, 2001, 12(10): 1072 – 1075.  
Chen Xiaomei, Ni Guoqiang, Liu Mingqi. On infrared image segmentation algorithm based on watershed [J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2001, 12(10): 1072 – 1075. (in Chinese)
- 12 朱伟兴, 苏威, 张怀德. 基于支持向量机的重叠大豆颗粒计数[J]. *大豆科学*, 2009, 28(1): 151 – 155, 159.  
Zhu Weixing, Su Wei, Zhang Huaide. Counting of overlapping soybean grain by support vector machine [J]. *Soybean Science*, 2009, 28(1): 151 – 155, 159. (in Chinese)
- 13 蔡竞, 庞全. 一种强粘连细胞图像的分割方法与实现研究[J]. *机械制造*, 2011, 49(4): 27 – 30.
- 14 尤育赛, 于慧敏, 刘圆圆. 基于粒度测量的重叠圆形颗粒图像分离方法[J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2005, 39(7): 962 – 966.  
You Yusai, Yu Huimin, Liu Yuanyuan. Separating algorithm for overlapping circular granule images based on granulometry [J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2005, 39(7): 962 – 966. (in Chinese)
- 15 Gao Hua, Wang Yaqin, Ge Pingju. Research on segmentation algorithm of adhesive plant grain [C] // 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2007: 2927 – 2930.
- 16 Kantip K, Wasin S. Segmentation algorithm for touching round grain image [C] // 2010 International Conference on Electronics and Information Engineering, 2010: 1263 – 1266.
- 17 Wang Zhi, Jin Guang, Sun Xiaowei. An algorithm of image segmentation for overlapping grain image [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, 13(5): 592 – 598.
- 18 韦冬冬, 赵豫红. 基于凹点匹配的重叠图像分割算法[J]. *计算机与应用化学*, 2010, 27(1): 99 – 102.  
Wei Dongdong, Zhao Yuhong. An image segment algorithm for overlapped particles based on concave points matching [J]. *Computers and Applied Chemistry*, 2010, 27(1): 99 – 102. (in Chinese)
- 19 柳冠伊, 杨小红, 白明, 等. 基于线阵扫描图像的玉米果穗性状检测技术[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(11): 276 – 280.  
Liu Guanyi, Yang Xiaohong, Bai Ming, et al. Detecting techniques of maize ear characters based on line scan image [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(11): 276 – 280. (in Chinese)
- 20 Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(6): 583 – 598.

- 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<sup>1,2</sup> Bu Xiongzhu<sup>1</sup> Qian Kun<sup>3</sup>

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

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China

3. 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