

基于 H-Dome 重构的大豆图像分割

孙晓婷, 陈江红, 陈庆周

(福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350118)

摘要:在大豆品质检测过程中,大豆图像籽粒粘连给后续检测、分析等处理带来较大的困难。为此,提出了一种基于 H-Dome 重构的分水岭算法,先对二值图像进行 H-Dome 灰度形态重构合并极值,再对重建后的图像用距离变换得到距离图像,然后利用分水岭算法进行图像分割,最后提取分割线得到最终分离图像。该算法对籽粒的分割正确率为 96.6%,分割效果较好。

关键词:大豆籽粒;图像分割;分水岭;H-Dome

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)06-0821-04

Image Segmentation of Soybean Based on H-Dome

SUN Xiao-ting, CHEN Jiang-hong, CHEN Qing-zhou

(School of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)

Abstract: During quality inspection of soybean, the adhesion of soybean seeds in image brings a great difficulty to the posterior detection and analysis. Accordingly, a watershed algorithm based on H-Dome was put forward. After the local minimums were merged by the grayscale morphological reconstruction of H-Dome, the distance transform of reconstructed image was obtained. And then the watershed algorithm was used to segment the image. At last, the watershed line was extracted to obtain the final segmentation image. The segmentation ratio of proposed algorithm reached 96.6%.

Key words: Soybean seed; Image segmentation; Watershed; H-Dome

计算机视觉技术的发展,使得大豆品质的视觉检测成为可能。在视觉检测系统中,由于大豆籽粒被随机放置在载样台或传送带上,实际采集到的大豆图像,往往有籽粒聚堆或粘连在一起,甚至多个籽粒重叠的现象。而籽粒图像的分割效果是直接影响后续形状特征提取和等级鉴别工作的重要因素。目前,图像分割的方法有很多,例如:阈值分割法、基于边缘的分割法、基于区域的分割法以及分水岭算法等。其中分水岭算法因具有计算速度快、边界定位准确等优点而被广泛应用到粮食颗粒分割领域,但传统分水岭算法受图像中噪声的影响,容易产生过分割的现象^[1-2]。本文应用基于 H-Dome 重构的分水岭算法对大豆重叠、粘连籽粒进行分离,并在 Labview 下对算法进行验证。

1 分水岭算法

分水岭算法^[3-4]是一种基于数学形态学和区域的图像分割方法,通常模拟为一个水浸入的过程。它将图像中的灰度值表示海拔高度,山峰对应灰度极大值,山谷盆地对应灰度极小值。让水从各极小区域的表面不断涌出,当处在不同盆地中的水将要

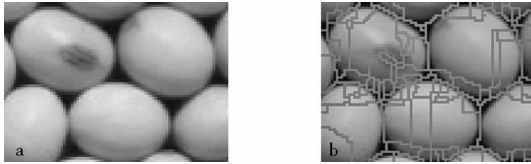
聚合在一起时,修建一个堤坝阻止聚合。这些堤坝就是区域的轮廓分割线。分水岭计算分为排序和水浸入两个步骤,其数学描述为^[5]:

假设定义域 D_g 上的函数 g 为待处理的图像, $h_{\max} = \max(g)$, $h_{\min} = \min(g)$ 分别为它的最大和最小值。集合 $[D_g]^h = \{x \in D_g \mid g(x) \leq h\}$ 表示函数 g 的上阈限。

g 的分水岭区域即为集合 $X_{h_{\max}}$ 和 $X_{h_{\min}}$, 可以通过迭代运算得到,即:

$$X_{h_{\min}} = [D]h_{\min}; X_{h+1} = \text{Re } g_ \text{Min}_{h+1}(f) \cup IZ_{[D_g]h+1}(X_h), \forall h \in [h_{\min}, h_{\max} - 1] \quad (1)$$

式(1)中 $\text{Re } g_ \text{Min}_k(g) = \{x \in D_g \mid x = \text{Local min}, \text{ 且 } g(x) = h\}$, 函数 g 的分水岭是 $X_{h_{\max}}$ 的补集。 $X_{h_{\min}}$ 对应水浸入的过程,山谷盆地之间水坝的建立就是记录 $X_{h_{\max}}$ 的骨架点的过程,建立的水坝就是函数 g 的分水岭。图 1 是分水岭算法的结果,可以看到过分割现象严重。这是由于图像中的非规则灰度扰动和噪声的存在,造成存在多个局部灰度极值点,产生图像的过度分割现象。因此我们提出了形态重构后再用分水岭算法分离的新方法。



a: 原图; b: 分水岭变换。

a: Original image; b: Watershed.

图1 直接分水岭变换结果

Fig. 1 Watershed result

2 基于 H-Dome 形态学重构的距离变换

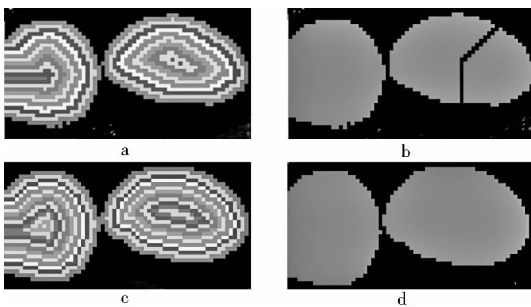
2.1 距离变换

距离变换^[6]是一种将二值图像转化为灰度图的运算,在灰度图像中,每个像素灰度级是二值图像中该像素与其最近的背景间的最短欧氏距离。一个 $M \times N$ 的二值图像可以用一个二维数组 $A_{M \times N} = [a_{ij}]$ 来表示,其中 $a_{ij} = 1$ 的像素对应物体目标点, $a_{ij} = 0$ 的像素对应背景点。设 $B = \{(x, y) | a_{ij} = 0\}$ 为背景像素集合, $F = \{(x, y) | a_{ij} = 1\}$ 为目标像素集合,则欧式距离变换可以表示为:

$$d_{ij} = \min \{D_E[(i, j), (x, y)], (x, y) \in B\} \quad (2)$$

其中: $D_E[(i, j), (x, y)] = \sqrt{(i-x)^2 + (j-y)^2}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$

传统分水岭算法一般是和距离变换结合在一起的,其分割过程是在距离变换后得到的区域极值上进行区域增长得到的。图 2(a) 是距离变换的梯度图,图 2(b) 是在距离变换后用分水岭分割的结果,同直接运行分水岭算法比较起来分割效果大为改善,但仍然存在过分割现象。这是由于颗粒形状的不规则性,使得距离变换在 1 个籽粒内部产生多个局部极值,从图 2(a) 中可以看到在其中一个籽粒内部产生了 2 个极值;而在分水岭算法中,1 个局部极小值对应 1 个分割区域,所以产生了过分割现象。



a: 距离变换; b: 分水岭变换; c: 灰度重建后距离变换; d: 分水岭变换。

a: Distance transform; b: Watershed; c: Distance transform after morphological reconstructing; d: Watershed.

图2 算法有效性验证

Fig. 2 Algorithm validity verification

2.2 H-Dome 形态学重构

形态学重构是基于测地膨胀的形态学运算,主要用来提取区域极值,可以有效地改善分水岭变换中的过分割现象。

对二值图像的形态重构^[7-8]定义:设 I 和 J 是定义于同一离散域 D 上的二值图像,且 $J \subseteq I$,则称 J 为标识(marker)图像, I 为掩模(mask)图像,假设 I_1, I_2, \dots, I_n 是 I 的连通成分,用标识图像 J 对掩模图像 I 的形态重构 $\rho_I(J)$ 是包含 J 中至少一个像素的 I 的连通成分之并集。

$$\rho_I(J) = \bigcup_{J \cap I_k \neq \emptyset} I_k \quad K = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

灰度形态重构定义为:设 m, f 是定义于同一离散域 D 上的二个灰度图像,其取值范围为离散集合 $\{0, 1, \dots, n-1\}$, 且 $m \leq f(\forall p \in D, m(p) \leq f(p))$, 则用 m 对 f 灰度图像形态重构可表示为:

$$\forall p \in D, \rho_f(m)(p) = \max \{k | p \in \rho_{T_k \cap D}(T_k(m)), k \in \{0, n-1\}\} \quad (4)$$

式(4)中 $T_k(f) = \{p | p \in D, f(p) \geq k\}$, $f(p)$ 是 p 点在图像 f 中的灰度值。另外,也用测地膨胀的概念来定义形态重构可表示为:

$$\rho_f(m) = \lim_{n \rightarrow \infty} \delta_B^{n-1}(m|f) \cdot \delta_B^n(m|f) = (\delta_B^{n-1}(m|f) \oplus B) \wedge f \quad (5)$$

式(5)中 $\delta_B^1(m|f) = (m \oplus B) \wedge f$, m 为标识(marker)图像, f 为掩模(mask)图像, \oplus 为膨胀运算, \wedge 表示逐点比较取最小值, B 为尺寸为 1 的结构元素,计算到当 $\delta_B^n(m|f) = \delta_B^{n-1}(m|f)$ 时得到重构图像,即:

$$\rho_f(m) = \bigvee_{n \geq 1} \delta_B^n(m|f), \delta_B^n(m|f) = \underbrace{\delta_B^1(m|f) \cdot \delta_B^1(m|f) \cdots \delta_B^1(m|f)}_{n \text{ 次}} \quad (6)$$

式(6)中 \bigvee 表示逐点比较取最大值。

根据不同的标识(marker)、掩模(mask)和重建规则,形态重构可分为许多种,如 H-Dome 重构中标识图像 m 满足: $\forall p \in D, m(p) = f(p) - h$, h 为预设常数^[9]。即将图像 f 的每个像素的灰度值降低 h , 用 m 对 f 进行重建,得到的图像可以保持图像 f 的形态,而消除幅度小于 h 的微小差异,有效地从灰度图中提取出各极大区域,为分水岭算法提供更好的距离灰度图。参数 h 的选取主要取决于伪区域极值的分布特征,根据不同粘连或重叠状态的颗粒特征选取经验值,尽量做到在去除伪区域极值的同时保留真实区域极值。图 2(c) 是 $h = 20$ 运用 H-Dome 重构后得到的距离变换图,可以看到每个籽粒内部都只有一个极值。图 2(d) 是最后分割的结果,表明该算法能成功地分离出粘连颗粒中的每个颗粒,几乎不存在过分割现象。

3 算法过程与实现

本研究在 Windows XP 环境下,采用 Labview 编程实现大豆图像分割试验。利用 H-Dome 重构分水岭算法实现大豆图像分割的过程如图 3 所示,可分为以下步骤:

(1)H-Dome 重构。对输入的大豆图像图 3(a)首先采用中值滤波法进行图像滤波,然后将原图像的像素灰度值降低 h ,得图 3(b);把灰度值降低 h 的图根据原图进行灰度重建,结果如图 3(c)。

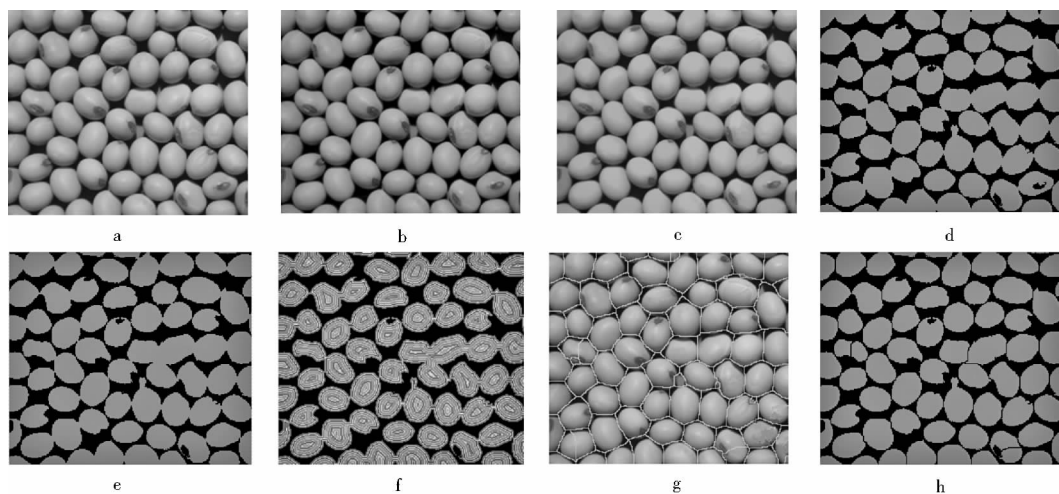
(2)二值化及去噪。将重建后的图像用最大类间方差法二值化,处理结果见图 3(d),从中可以看到大豆的豆脐经过二值化后在大豆表面形成小空洞,为后面的分水岭变换带来干扰。形态开运算 $X \ominus B = (X \ominus B) \oplus B$ 具有消除图像中孤立细小结构和平滑

滑对象轮廓的作用,并能断开对象间狭窄的连接;形态学闭运算 $X \cdot B = (X \oplus B) \ominus B$ 则具有填充对象内细小空洞,平滑对象边界的作用。因此,利用开、闭操作,用以消除豆脐带来的噪声,结果如图 3(e)所示。

(3)距离变换。把经过二值化和去噪处理的图像进行距离变换,用灰度值表示各点像素与边界的最短距离,得到距离梯度图,见图 3(f)。

(4)分水岭变换。利用分水岭算法距离梯度图进行分割,得到大豆籽粒的边界轮廓分割线如图 3(g),叠加在原图形上最终得到分离结果为图 3(h)。

从图 3 中可以看出,应用的分离算法能较好地 将大豆籽粒分离开来,并较好地保护籽粒的边缘信息。



a: 原图像;b: 灰度值降低;c: 灰度重构;d: 二值化;e: 开、闭运算;f: 距离变换;g: 分割线;h: 分割结果。

a: Original image; b: Subtracted the specified value; c: Morphological reconstruction; d: Binary image; e: Opening and closing; f: Distance transform; g: Separating line; h: Result of segmentation.

图 3 大豆颗粒的分离过程

Fig. 3 Separate process of overlapping Soybean

4 测试结果与分析

本文随机抽取样本图片 20 张,对识别算法进行测试,试验结果统计如表 1 所示。其中,错误分割数

= 过分割数 + 未分割数,分割正确率 = 错误分割数/大豆数量。统计结果表明平均过分割率为 2.3%,平均未分割率为 1.1%,平均分割正确率为 96.6%。

表 1 分割结果分析

Table 1 Analysis of segmentation results

大豆粒数 Seed number	过分割数 Over-segmented seeds	未分割数 Un-segmented seeds	正确率 Accuracy rate/%	大豆粒数 Seed number	过分割数 Over-segmented seeds	未分割数 Un-segmented seeds	正确率 Accuracy rate/%
91	2	1	96.7	122	3	1	96.7
72	2	1	95.8	115	3	1	96.5
131	3	2	96.2	104	2	1	97.1
113	2	2	96.5	86	2	1	96.5
96	3	1	95.8	77	2	1	96.1

续表 1

大豆粒数 Seed number	过分割数 Over-segmented seeds	未分割数 Un-segmented seeds	正确率 Accuracy rate/%	大豆粒数 Seed number	过分割数 Over-segmented seeds	未分割数 Un-segmented seeds	正确率 Accuracy rate/%
88	2	1	96.6	85	2	1	96.5
124	3	1	96.8	94	2	1	96.8
68	1	0	98.5	99	3	1	96.1
95	2	1	96.8	76	2	1	96.1
103	2	1	97.1	92	2	2	95.7

5 结 论

为了改善大豆图像的籽粒分割效果,提出了一种基于 H-Dome 重构的分水岭算法进行籽粒分离,该算法运用 H-Dome 重构改善灰度图中局域多个极值的问题,然后运用分水岭算法获得分割线,从而实现了大豆图像的分离。通过分割测试表明,该方法对籽粒的分割正确率为 96.6%,比较理想地解决了大豆图像的分割问题,并能较好地保护籽粒的边缘信息;具有较好的鲁棒性。

参考文献

- [1] 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):164-167. (Xun Y, Bao G J, Yang Q H, et al. Automatic segmentation of touching corn kernels in digital image[J]. Transactions of the CSAM,2010,41(4):164-167.)
- [2] 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. (Yang S Q, Ning J F, He D J. Image segmentation algorithm of touching rice kernels based on active contour model[J]. Transactions of the CSAE,2010,26(2):207-211.)

(上接第 820 页)

参考文献

- [1] Amato P, Young R L, Steinberg F M, et al. Effect of soy isoflavone supplementation on menopausal quality of life[J]. Menopause, 2013,20(4):443-447.
- [2] Wei P, Liu M, Chen Y, et al. Systematic review of soy isoflavone supplements on osteoporosis in women[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine,2012,5(3):243-248.
- [3] 李俏俏,王清路,薛金艳. 大豆异黄酮对绝经女性血清中脂类物质的影响[J]. 大豆科学,2009,28(1):172-174. (Li Q Q, Wang Q L, Xue J Y, et al. Effect of soy isoflavone on the serum lipid level of postmenopausal women[J]. Soybean Science,2009,28(1):172-174.)
- [4] Hong H, Landauer M R, Foriska M A, et al. Antibacterial activity of the soy isoflavone genistein[J]. Journal of Basic Microbiology, 2006,46(4):329-335.
- [5] Wu A H, Spicer D V, Pike M C. Soy isoflavones for breast cancer risk reduction—letter[J]. Cancer Prevention Research, 2012,5(7):984-985.

- [3] Gonzalez R G, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002:617-626.
- [4] 杨华东,简森夫. 基于灰度形态重构的颗粒图像分割方法[J]. 南京工业大学学报,2005,27(3):98-102. (Yang H D, Jan M F. The segmentation algorithm of particle image based on grayscale morphological reconstruction[J]. Journal of Nanjing University of Technology,2005,27(3):98-102.)
- [5] 徐奕奕,刘智琦,刘琦. 基于改进的分水岭算法图像分割方法研究[J]. 计算机仿真,2011,28(9):272-274. (Xu Y Y, Liu Z Q, Liu Q. Image segmentation based on watershed algorithm[J]. Computer Simulation,2011,28(9):272-274.)
- [6] 戴丹. 基于改进的分水岭算法的粘连颗粒图像分割[J]. 计算机技术与发展,2013,23(3):19-22. (Dai D. Image segmentation of adhering particle based on improved watershed algorithm[J]. Computer Technology and Development,2013,23(3):19-22.)
- [7] Vincent L. Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing,1993,2(2):176-201.
- [8] 蔡晋辉,周泽魁,施丽莲. 基于连通算子的图像颗粒分割算法研究[J]. 电路与系统学报,2004,9(5):131-134. (Cai J H, Zhou Z K, Shi L L. An algorithm to separate overlapping particles based on connected operator[J]. Journal of Circuits and Systems, 2004,9(5):131-134.)
- [9] NI Vision Concepts help[G]. America: National Instruments Corporation,2012.

- [6] 何恩铭,沈瑞池,林志楷,等. 大豆异黄酮抗肿瘤效应研究进展[J]. 亚热带植物科学,2013,42(4):362-366. (He E M, Shen R C, Lin Z K, et al. A review on anti-tumor effects of soybean isoflavones[J]. Subtropical Plant Science,2013,42(4):362-366.)
- [7] Hsu B Y, Inbaraj B S, Chen B H. Analysis of soy isoflavones in foods and biological fluids; an overview[J]. Journal of Food and Drug Analysis,2010,18(3):141-154.
- [8] Manchón N, D'Arrigo M, García-Lafuente A, et al. Comparison of different types of stationary phases for the analysis of soy isoflavones by HPLC[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry,2011,400(5):1251-1261.
- [9] 何恩铭,李惠华,常强,等. 豆渣中大豆异黄酮的提取工艺初探[J]. 中国调味品,2011,36(11):19-21. (He E M, Li H H, Chang Q, et al. A preliminary study on the extraction of soybean isoflavones from soybean dregs[J]. China Condiment, 2011,36(11):19-21.)
- [10] 何恩铭,李惠华,常强,等. 超声波法提取豆渣中大豆异黄酮的工艺研究[J]. 大豆科学,2011,30(4):680-682. (He E M, Li H H, Chang Q, et al. A preliminary study on extraction of soybean isoflavones from soybean dregs by ultrasound method[J]. Soybean Science,2011,30(4):680-682.)