

基于图像轮廓分析的堆叠葡萄果粒尺寸检测^{*}

陈英 李伟 张俊雄
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 提出一种堆叠葡萄果粒尺寸检测算法:首先通过8-邻域轮廓跟踪提取果穗轮廓曲线,然后基于改进的曲线旋转和局部极值判断方法搜索曲线上的凹点,从而将曲线分割成分段圆弧以实现果粒的分割和识别,进而采用最小二乘分段曲线拟合计算果粒直径。通过对巨峰葡萄的检测试验表明,该算法对葡萄果穗的果粒正确识别率在35%左右,用于统计葡萄的平均果粒直径,平均误差为0.61 mm,最大误差为1.69 mm,根据果粒大小分级的准确率为72.7%。

关键词: 葡萄 果穗 尺寸检测 图像处理
中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)08-0168-05

Overlapped Grapes Berry Size Inspection Based on Image Contour Analysis

Chen Ying Li Wei Zhang Junxiong
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

An algorithm was presented to detect size of berries on grapes bunch. Firstly, the contour curves of the grapes bunch were extracted by contour tracking. Then concave points were detected by rotating the curve continuously and searching local extremum points so that the curves were divided into circular arcs, in which each arc corresponds to one berry of the grapes. Finally, the least-square curve fitting method was applied to calculate the radius of the berries. Experiments of Jufeng grapes showed that by using the presented method, about 35% berries on a grapes bunch could be recognized. In the estimation of average berry radius of a bunch, the average error was 0.61 mm, the maximum error was 1.69 mm and berry size grading accuracy was 72.7%.

Key words Grapes, Cluster, Size inspection, Image processing

引言

目前,计算机视觉技术已广泛应用于苹果、柑桔、番茄、桃子、梨等水果的外观品质检测与分级^[1],而作为世界第二大栽培水果的葡萄,由于其果实呈穗状,每穗果实包括相互堆叠的多枚果粒,使得果粒尺寸检测具有一定难度,因而目前葡萄的计算机视觉分级研究和应用较少,其分选分级主要由人工完成,无法适应规模化和产业化生产的要求。文献[2]开发了一套悬挂式连续输送的葡萄检测分级系统,实现了基于葡萄果面颜色、果穗大小、果穗形状3个指标的分级,而未涉及果粒尺寸这一项重

要的葡萄分级指标。
在一幅葡萄图像中,葡萄果粒层层堆叠、互有接触、互相遮挡,大多数果粒都不能完整呈现在图像中。针对这类堆叠颗粒的图像识别与检测问题,目前采用的方法主要有以下几种:①基于形态学的腐蚀膨胀^[3]或分水岭分割算法^[4-5],此类算法仅适用于颗粒大小差别不大、重叠轻微的情况,如细胞分割计数^[5]、粘连谷物颗粒分割测量^[3-4]等,不适于严重堆叠的葡萄果粒检测。②基于Hough变换的算法,用于检测互有轻微重叠的3~5片蔬菜秧苗叶片^[6]、图形中的少数圆形目标^[7]等,对于大量严重堆叠的葡萄果粒,采用Hough变换进行检测时,存储空间

收稿日期: 2010-10-21 修回日期: 2010-11-21
^{*} 国家自然科学基金资助项目(31071320)和高等学校博士点专项科研基金资助项目(20090008110007)
作者简介: 陈英,副教授,主要从事计算机视觉检测研究,E-mail: cy@cau.edu.cn

和计算效率是需要考虑的问题。③ 基于 Canny 边缘检测和凹点搜索的算法,主要用于煤粉颗粒检测^[8-9]、浮选泡沫检测^[10]等,此类算法可以用来识别和检测葡萄图像中的多数可见果粒,但效率很低,难以适应在线动态分级的要求。为此,本文提出一种基于果穗轮廓跟踪和轮廓曲线分析的算法检测葡萄果粒直径,进而根据葡萄果粒尺寸进行分级。

1 果粒识别与直径测量算法

图 1 所示是检测线上采集的一幅葡萄果穗图像,可以看出,果粒之间相互接触、堆叠,多数果粒处于部分遮挡甚至完全遮挡的状态,检测果穗中的所有果粒存在很大困难。通过对 110 穗巨峰葡萄图像的统计,发现图像中表层可见果粒占整穗葡萄总果粒数的 52.9%~88.5%,而边缘处呈现的果粒数占总果粒数的 31.9%~77.3%。由于表层果粒大多下面几层果粒为背景,且果粒边界模糊,检测表层所有可见果粒算法耗时且精度较差,难以满足动态在线检测的要求,因此本文试图识别并检测处于图像轮廓边缘的果粒尺寸,用以反映整穗葡萄的平均果粒尺寸。

1.1 图像二值化

本文使用的葡萄检测系统^[2],其图像采集环境单一(白色背景),采集的葡萄图像背景简单,采用固定阈值法能较好地提取出目标。由于不同成熟度葡萄图像 *B* 通道直方图的波谷宽度较大,且在 210 灰度级附近都有明显的波谷,因此选取 *B* 通道固定阈值 *T* 为 210 进行二值化处理,二值化图像如图 2 所示。

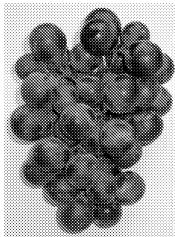


图 1 葡萄图像
Fig.1 Grapes images



图 2 二值化图像
Fig.2 Binary image

1.2 轮廓提取

采用 8-邻域边界跟踪算法提取葡萄果穗的边缘轮廓:按从左到右、从下到上的顺序扫描二值图像,找到的第 1 个黑色像素点是目标物体最左下方的边缘点,记为 P_0 ,其右、右上、上、左上 4 个邻点中至少有一个是边界点,记为 P_1 ,从 P_1 点开始,按照右、右上、上、左上、左、左下、下、右下的顺序寻找其 8 个邻域中的边缘点 P_2 。判断是否为边界点的跟踪准则为:如果一个点的上、下、左、右 4 个邻点不都是

黑点,则它即为边界点。如此继续下去,直至找到的边缘点 $P_n = P_0$,表示已经回到起点,轮廓跟踪结束,得到的葡萄果穗轮廓曲线如图 3 所示。

1.3 凹点检测

通过边缘跟踪提取的葡萄轮廓是一条封闭曲线 $(P_0, P_1, \dots, P_{n-1})$,线宽为单像素,可以近似看成由一系列首尾相连的圆弧组成。对于巨峰、玫瑰香等典型的葡萄品种,果粒为近球形,因此图像轮廓曲线上的每段圆弧代表一枚果粒,两段圆弧相交处表现为曲线凹陷和明显的曲率突变,称为凹点,准确识别出这些凹点是果粒分割、识别和测量的关键。

传统的凹点检测多基于曲率计算及曲率极值判断^[10-11],计算量较大,也有学者采用高阶链码方法^[12]或模板卷积算法^[9],本文借鉴 Shen 等^[8]提出的方法并予以改进。

如图 4 所示,设当前检测点 P_i 的像素点坐标为 (x_i, y_i) ,其前继点和后续点分别为 $P_{pre}(x_{pre}, y_{pre})$ 和 $P_{next}(x_{next}, y_{next})$,则曲线上的凹点(*B*、*E*、*H*)满足

$$(x_{pre} \leq x_i \leq x_{next}) \vee (x_{pre} \geq x_i \leq x_{next}) \vee (y_{pre} \leq y_i \leq y_{next}) \vee (y_{pre} \geq y_i \leq y_{next}) \quad (1)$$

即凹点是 *x* 或 *y* 坐标的局部极值点。但同时,曲线上某些非凹点(*A*、*C*、*D*、*F*、*G*、*I*)同样也满足该局部极值条件,因此仅靠式(1)不能准确检测出凹点。



图 3 轮廓提取
Fig.3 Contour tracking

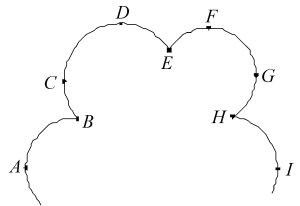


图 4 局部极值点
Fig.4 Schematic diagram for local extremum points

将曲线旋转一定角度,如图 5 所示,凹点 B' 、 E' 、 H' 依然满足局部极值条件,而非凹点 A' 、 C' 、 D' 、 F' 、 G' 、 I' 则不再满足,即凹点在曲线旋转变换中始终保持局部极值特性,而非凹点不具备这种特性。因此,将轮廓曲线从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 按特定角度步长(本

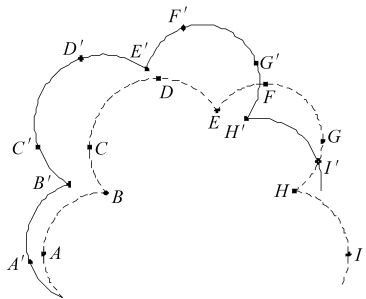


图 5 曲线旋转后的局部极值点
Fig.5 Local extremum points after rotating the curve

文取 1°)作连续旋转,并判断旋转后的各点是否满足式(1),最后累计各点满足式(1)的次数,次数超过阈值 T_p 的点即为凹点。

Shen 等^[8]的算法中,取 $P_{pre} = P_{i-1}, P_{next} = P_{i+1}$,则计算图 3 所示曲线各边缘点的局部极值次数如图 6 所示,其中横坐标是边缘点的序号,纵坐标是边缘点在旋转变换和局部极值判断中满足局部极值条件的次数,次数大于 T_p (取 $T_p = 200$)的点对应图 7 中的圆圈标记点,可以看出部分凹陷不太明显的凹点未被检出,凹点检出率偏低。

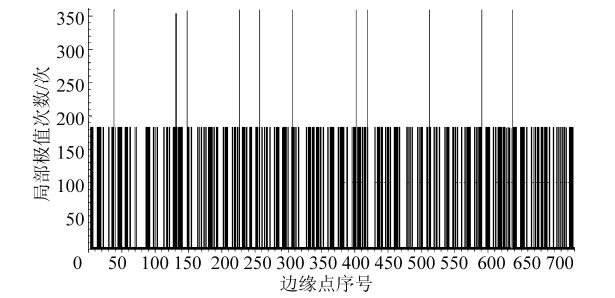


图 6 各边缘点的局部极值次数

分析上述凹点检出率偏低的原因,是其仅采用检测点前后各 1 个点的信息进行局部极值判断,只能搜索到在 3 个边缘点的范围内曲线走向产生突变的凹点。为此,本文尝试增加局部极值判断所使用的点信息,使凹点检出效果大为改善,但同时计算量有所增加,综合考虑检测精度和检测效率,取检测点前后各 3 个点的信息进行局部极值判断,即令

$$P_{pre} = (P_{i-3} + P_{i-2} + P_{i-1})/3$$
$$P_{next} = (P_{i+3} + P_{i+2} + P_{i+1})/3$$

则图 3 曲线对应的各边缘点的局部极值次数如图 8 所示,其中次数大于 T_p (取 $T_p = 200$)的点对应图 9 中的圆圈标记点,可以看出绝大多数凹点被检出。

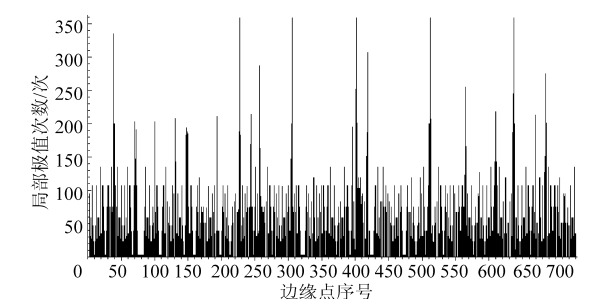


图 8 增加点信息后各边缘点的局部极值次数

Fig. 8 Local extremum frequency of each edge point

1.4 曲线拟合

检测出的凹点将边缘曲线分割成若干段,每段曲线代表一枚近球形葡萄果粒,本文采用最小二乘圆拟合算法计算分段圆弧的圆心和半径,即果粒位置和果粒尺寸。

设某段圆弧上各像素点的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$,由这些点可拟合出圆心在 (x_c, y_c) 、半径为 R 的圆,圆的方程为: $(x - x_c)^2 - (y - y_c)^2 = R^2$ 。根据最小二乘法原理,构造参数估计函数为各像素点距拟合圆的距离平方和,即

$$J(R, x_c, y_c) = \sum_{i=1}^N (R^2 - (x_i - x_c)^2 - (y_i - y_c)^2)^2 \tag{2}$$

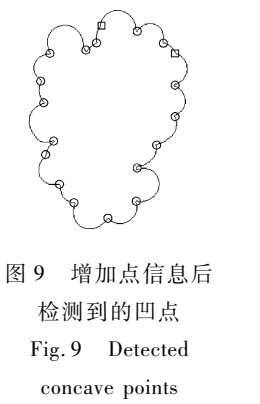
对 J 最小化,即令 $\frac{\partial J}{\partial R} = 0, \frac{\partial J}{\partial x_c} = 0, \frac{\partial J}{\partial y_c} = 0$,即可求得 x_c, y_c, R 的值为

$$\begin{cases} x_c = \frac{c_1 b_2 - c_2 b_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1} \\ y_c = \frac{a_1 c_2 - a_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1} \\ R^2 = \frac{\sum x_i^2 - 2x_c \sum x_i + nx_c^2 + \sum y_i^2 - 2y_c \sum y_i + ny_c^2}{n} \end{cases} \tag{3}$$

其中

$$a_1 = 2 \left[\left(\sum x_i \right)^2 - n \sum x_i^2 \right]$$
$$a_2 = b_1 = 2 \left(\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i \right)$$
$$b_2 = 2 \left[\left(\sum y_i \right)^2 - n \sum y_i^2 \right]$$
$$c_1 = \sum x_i^2 \sum x_i - n \sum x_i^3 + \sum x_i \sum y_i^2 - n \sum x_i y_i^2$$
$$c_2 = \sum x_i^2 \sum y_i - n \sum y_i^3 + \sum y_i \sum y_i^2 - n \sum x_i^2 y_i$$

图 9 进行分段曲线拟合后的结果如图 10 所示。当两段圆弧连接处凹陷不明显甚至几乎相切的情况下,在该处有时会出现凹点漏检,如图 9 中的方框标记处即为漏检的凹点。这时,分别代表两枚果粒的圆弧被误判为一段曲线,导致拟合出的圆弧直径远远大于葡萄果粒直径范围,因此在算法中增加判断条件:当拟合出的圆弧直径 D 大于 D_{max} (其中



$D_{\max}$ 为某品种葡萄果粒实际最大直径)时,则舍弃该段圆弧。

2 检测结果与分析

2.1 模拟图像检测结果

为了验证以上算法的检测效果,首先将其应用于模拟图像。图 11 是一幅计算机生成的二值图像,模拟 20 个直径 50 ~ 68 像素的圆形颗粒堆叠的情况。图 12 是采用本文的算法检测到图像边缘轮廓处的圆形颗粒。结果表明:边缘颗粒的识别率为 100%,且未发生误识别;对 20 个颗粒进行直径检测,与其理论值的最大绝对误差为 2.4 像素,最大相对误差为 3.6%,具有较高的检测精度,因此可以将算法用于葡萄检测。



图 11 模拟图像
Fig. 11 Computer-generated sample images

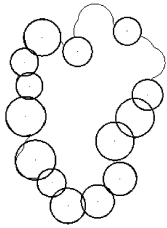


图 10 分段曲线
拟合结果

Fig. 10 Result of curve fitting of Fig. 9

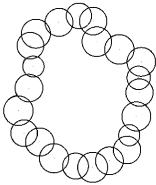


图 12 模拟图像检测结果
Fig. 12 Recognition results of computer-generated image

2.2 葡萄果粒大小分级

按原农业行业标准 NY/T 470—2001 鲜食葡萄,一穗葡萄的平均果粒质量将葡萄分为 3 级,如表 1 所示。巨峰葡萄品种的平均果粒质量约为 10 g,平均果粒直径约为 24.5 mm,由于果粒质量与果粒直径为三次方的关系,可以将按果穗平均果粒质量分级转换为按果穗平均果粒直径分级,即

$$d_1 = 1.05d$$

式中 d ——品种平均果粒直径,取 $d = 24.5\text{ mm}$

d_1 ——一级平均果粒直径,经计算,为 25.7 mm

据此可以得出表 1 所列巨峰葡萄果粒直径分级。

表 1 葡萄果粒尺寸分级

Tab. 1 Size grading standard of grapes

等级	果穗平均 果粒质量	果穗平均 果粒直径	巨峰葡萄果粒 直径/mm
1 级 (特等果)	大于等于 115% 品种平均粒质量	大于等于 105% 品种平均直径	≥ 25.7
2 级 (一等果)	大于等于 品种平均粒质量	大于等于 品种平均直径	≥ 24.5
3 级 (二等果)	小于 品种平均粒质量	小于 品种平均直径	< 24.5

2.3 葡萄图像检测结果

本文葡萄检测装置中,葡萄以悬挂方式连续输送,在图像采集区域,两个 JVC TK-C1481BEC 型彩色 CCD 摄像机(分辨率为 768 像素 $\times$ 576 像素)相对安装,一个微视凌志 Matrox Morphis 采集卡,在外触发模式下,同时采集通过检测区域葡萄的两面图像。选取 22 穗巨峰葡萄进行检测试验,图 13a、13d 是其中一穗葡萄的两面图像。用本文提出的算法对图像中边缘处的果粒进行识别与拟合,结果如图 13b、13e 所示,将拟合结果覆盖在原始图像上得到图 13c、13f。

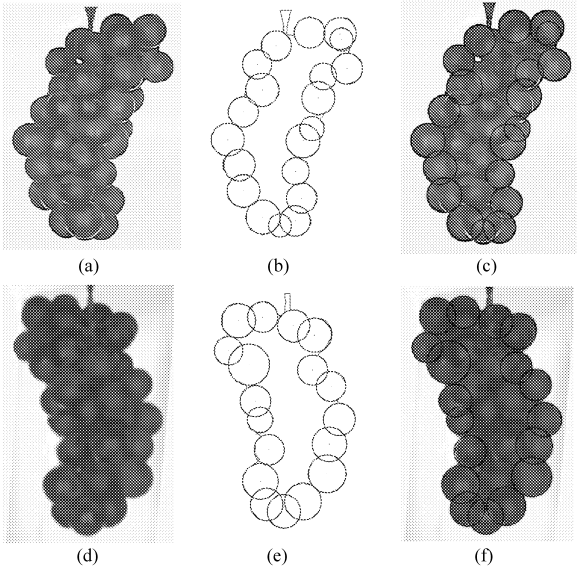


图 13 葡萄图像检测结果

Fig. 13 Recognition results of grapes image

(a) 正面图像 (b) 正面图像果粒识别与拟合结果
(c) 正面图像叠加图 (d) 反面图像
(e) 反面图像果粒识别与拟合结果 (f) 反面图像叠加图

由图 13 可以看出,该算法能较好地识别并拟合出边缘处的果粒。在此基础上,统计在每穗葡萄两面图像中共识别出的果粒数 N_r ,计算平均果粒直径,并依据表 1 判断葡萄等级。图像检测结束后,人工将每穗葡萄的果粒取下并记录总果粒数 N_s ,然后用卡尺测量果粒尺寸,计算每穗葡萄所有果粒直径的平均值作为该穗葡萄的实际平均果粒直径,并依据表 1 判定该穗葡萄的实际等级。人工测量和图像检测结果列于表 2,考虑到在葡萄正反两面图像中,很多边缘果粒被识别了 2 次,因此表 1 中的果粒正确识别率为: $N_r/(2N_s)$ 。

3 结论

(1) 采用曲线连续旋转并计算局部极值概率的方法,能有效搜索曲线上的凹点,从而将葡萄果穗轮廓分割成分段圆弧,实现果粒分割与识别。

表 2 葡萄果粒检测及分级结果
Tab.2 Inspection and grading results of grapes

序号	人工测量结果			图像检测结果			果粒	平均直径绝对	机器视觉
	果粒数	平均直径/mm	等级	果粒数	平均直径/mm	等级	识别率/%	误差/mm	分级结果
1	28	25.46	2	27	24.97	2	48.2	0.49	正确
2	34	25.24	2	29	25.54	2	42.6	0.30	正确
3	28	25.82	1	22	24.13	3	39.3	1.69	错误
4	44	24.03	3	27	23.80	3	30.7	0.23	正确
5	28	25.30	2	17	23.98	3	30.4	1.32	错误
6	50	23.50	3	34	23.41	3	34.0	0.09	正确
7	43	24.03	3	29	22.79	3	33.7	1.24	正确
8	54	24.36	3	38	23.89	3	35.2	0.47	正确
9	33	23.90	3	24	24.00	3	36.4	0.10	正确
10	43	24.94	2	35	24.97	2	40.7	0.03	正确
11	60	24.28	3	35	24.10	3	29.2	0.18	正确
12	28	25.00	2	21	24.92	2	37.5	0.08	正确
13	34	23.84	3	25	24.78	2	36.8	0.94	错误
14	40	24.15	3	32	23.53	3	40.0	0.62	正确
15	47	23.36	3	32	23.71	3	34.0	0.35	正确
16	48	24.55	2	30	23.76	3	31.3	0.79	错误
17	35	22.26	3	27	22.41	3	38.6	0.15	正确
18	60	22.74	3	32	23.11	3	26.7	0.37	正确
19	69	23.49	3	37	23.93	3	26.8	0.44	正确
20	37	24.39	3	26	22.91	3	35.1	1.48	正确
21	52	25.62	2	31	26.48	1	29.8	0.86	错误
22	38	26.58	1	29	25.48	2	38.2	1.10	错误
平均值							35.2	0.61	
最大值							48.2	1.69	
分级准确率/%							72.7		

(2) 基于“轮廓跟踪-凹点检测-曲线拟合”算法检测葡萄果穗中的堆积果粒,果粒识别率在 35.2% 左右,统计一穗葡萄平均果粒直径的平均误差为 0.61 mm,最大误差为 1.69 mm,果粒大小分级准确率为 72.7%。

参 考 文 献

1 Tadhg Brosnan, Da-Wen Sun. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems—a review [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002,36(2~3):193~213.

2 陈英,廖涛,林初靠,等. 基于计算机视觉的葡萄检测分级系统[J]. 农业机械学报, 2010,41(3):169~172.
Chen Ying, Liao Tao, Lin Chukao, et al. Grape inspection and grading system based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3): 169~172. (in Chinese)

3 Shahin M A, Symons S J. Seed sizing from images of non-singulated grain samples[J]. Canadian Biosystems Engineering, 2005, 47: 49~55.

4 Wang W, Paliwal J. Separation and identification of touching kernels and dockage components in digital images[J]. Canadian Biosystems Engineering, 2006, 48: 1~7.

5 康维,欧阳成,王广志,等. 基于分水岭变换的彩色细胞图像分割[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2006, 46(3): 414~417.
Kang Wei, Ouyang Cheng, Wang Guangzhi, et al. Color cellular image segmentation scheme based on watershed transformation[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2006, 46(3): 414~417. (in Chinese)

- 5 DeCarrera R. Demonstration of black liquor gasification at Big Island[R]. Georgia-Pacific Corporation, 2003.
- 6 Chen X, Van Heiningen A R P. Kinetics of the direct causticizing reaction between sodium carbonate and titanium dioxide or sodium trititanate[J]. Journal of Pulp and Paper Science, 2006, 32(4): 245 ~ 251.
- 7 Zeng L, Van Heiningen A R P. Pilot fluidized-bed testing of kraft black liquor gasification and its direct causticization with TiO_2 [J]. Journal of Pulp and Paper Science, 1997, 23(11): 511 ~ 516.
- 8 Zou X, Avedesian M M, Van Heiningen A R P. Kraft black liquor combustion and direct causticization with titanium dioxide[C]//1991 Pulping Conference Proceedings, Atlanta: TAPPI Press, 1991.
- 9 Nohlgren I, Zhuang Q, Theliander H, et al. Direct causticization using titanates in a fluidized bed reactor[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2002, 17(3): 246 ~ 253.
- 10 Nohlgren I, Magnusson K, Richards T. Recycling effects in the titanate direct causticization process[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2005, 20(3): 298 ~ 303.
- 11 Zeng L, Van Heiningen A R P. Sulfur distribution during air gasification of kraft black liquor solids in a fluidized bed of TiO_2 particles[C]//1998 International Chemical Recovery Conference, Tampa: TAPPI Press, 1998.
- 12 Nohlgren I, Sricharoenchaikul V, Sinquefield S, et al. Conversion of sulfur during pressurized pyrolysis and gasification of black liquor with direct causticization using titanates[J]. Paperi Ja Puu-Paper and Timber, 2005, 87(4): 259 ~ 263.
- 13 Nguyen X T. Process to regenerate kraft liquor: CA 1193406[P]. 1985.
- 14 Zou X, Avedesian M M, Kubes G J, et al. Direct causticization of kraft black liquo-Implications Based on Chemical Calculations[C]//1990 TAPPI Pulping Conference Proceedings, Atlanta: Tappi press, 1990.
- 15 Bamberger C E, Begun G M. Sodium titanates: stoichiometry and Raman spectra[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1987, 70(3): 48 ~ 51.
- 16 Zeng L, Pels J R, Van Heiningen A R P. Direct causticization of kraft black liquor solids with TiO_2 in a fluidized bed[J]. Tappi Journal, 2000, 83(12): 53 ~ 68.
- 17 Whitty K, Naranjo M, Rubiano C. Performance of a small scale fluidized bed black liquor steam reformer[C]//2006 TAPPI Engineering, Pulping and Environmental Conference Proceedings, Atlanta: TAPPI Press, 2006.
- 18 袁洪友, 阴秀丽, 李志文, 等. 硫酸盐黑液热解特性分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 86 ~ 91.
Yuan Hongyou, Yin xiuli, Li Zhiwen, et al. Experiment of kraft black liquor pyrolysis characteristics[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 86 ~ 91. (in Chinese)
- 19 Chen X. Kinetics of the direct causticizing reaction between black liquor and titanates during low temperature gasification[D]. Orono: The University of Maine, 2002.
- 20 Zeng L. Kraft black liquor gasification and direct causticization with TiO_2 in a fluidized bed[D]. Fredericton: University of New Brunswick, 1997.

(上接第 172 页)

- 6 Chien C F, Lin T T. Leaf area measurement of seedlings using elliptical Hough transform[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(5): 1 669 ~ 1 677.
- 7 黎自强, 滕弘飞. 广义 Hough 变换: 多个圆的快速随机检测[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(1): 27 ~ 33.
Li Ziqiang, Teng Hongfei. Generalized Hough transform: fast randomized multi-circle detection [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(1): 27 ~ 33. (in Chinese)
- 8 Shen L, Song X, Iguchi M, et al. A method for recognizing particles in overlapped particle images[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21(1): 21 ~ 30.
- 9 阮晓东, 赵文峰. 煤粉显微图像中重叠颗粒识别的方法[J]. 煤炭学报, 2005, 30(6): 769 ~ 772.
Ruan Xiaodong, Zhao Wenfeng. Recognizing of overlapped coal particles in microscope images[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(6): 769 ~ 772. (in Chinese)
- 10 Markus Honkanen, Pentti Saarenrinne, Tuomas Stoor, et al. Recognition of highly overlapping ellipse-like bubble images [J]. Measurement Science Technology, 2005, 16(9): 1 760 ~ 1 770.
- 11 Filiberto Pla. Recognition of partial circular shapes from segmented contours [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1996, 63(2): 334 ~ 343.
- 12 刘泉, 傅祖芸. 一种植物染色体图像核型分析系统[J]. 计算机工程与应用, 2000, 36(3): 71 ~ 74.
Liu Quan, Fu Zuyun. A system of analyzing plant chromosome image's karyotype [J]. Computer Engineering and Applications, 2000, 36(3): 71 ~ 74. (in Chinese)