

基于凹点搜索的重叠果实定位检测算法研究^{*}

谢忠红^{1,2} 姬长英¹ 郭小清² 朱淑鑫²

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 南京农业大学信息科学技术学院, 南京 210095)

【摘要】 为了能够快速准确地计算出生长状态为靠拢或重叠的成熟类圆果实的形心坐标和半径, 提出了一种基于凹点搜索的快速定位和检测重叠果实目标的方法。利用色调分量的统计规律实现背景分离, 采用链码跟踪法获得单像素果实轮廓, 并按步长获取边缘特征点; 然后利用 N 点方向编码差获取边缘凹点, 确定凹点群, 根据阈值确定分割凹点; 最后利用改进的 Hough 变换计算出多个重叠桃子的形心坐标和半径。研究结果表明, 本文算法速度快, 果实正确识别率最高可达 90.0%, 形心和半径误差均小于 7%。

关键词: 重叠果实 N 点方向编码差 边缘特征点 凹点 Hough 变换

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)12-0191-06

Detection and Location Algorithm for Overlapped Fruits Based on Concave Spots Searching

Xie Zhonghong^{1,2} Ji Changying¹ Guo Xiaoqing² Zhu Shuxin²

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. College of Information Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract

In order to calculate centric coordinates and radius of quasi-circular ripe fruits whose growing state was approached or overlapped, a kind of fast location and detection method for fruits object based on concave spots searching was proposed. After the object was segmented from background with hue according to statistical law, the freeman chain code algorithm was used to extract one-pixel fruit contour, from which the edge character points were abstracted. Then the edge concave spots which were found by direction coding difference of N points were divided into several concave spot groups, and the segmentation concave spots were located by the threshold. At last, the centric coordinates and radius of several overlapped peaches were calculated based on optimized circular Hough transform. The research results showed that the proposed method had rapid speed, the highest obtainable right recognition rate was 90.0%, and the error rate of centric points and radius was below 7%.

Key words Overlapped fruits, Direction coding difference of N points, Edge character point, Group of concave spots, Hough transform

引言

将成熟类圆果实目标从复杂背景中识别出来并确定其形心位置及半径是果实采摘机器视觉系统实现目标定位和机械手协调工作的基础。从已有文献看, 关于果实定位和识别的研究主要集中在果实分

离且无遮挡的简单情况^[1-3], 对果实生长状态为靠拢或重叠的这种复杂情况研究较少。谢志勇等^[4]利用 Hough 变换对相互紧贴或重叠的草莓进行识别研究, 识别速度慢且误差较大。尹建军等^[5]提出了基于形态重建的受控标记分水岭算法, 对不同生长状态的田间成熟番茄图像进行自动分割, 但由于

收稿日期: 2010-12-23 修回日期: 2011-02-09

^{*} 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA10Z259)

作者简介: 谢忠红, 讲师, 博士生, 主要从事计算机图像处理、模式识别、农业机器人视觉研究, E-mail: xiezh@njau.edu.cn

通讯作者: 姬长英, 教授, 博士生导师, 主要从事新型农业机械理论与技术、农业机器视觉研究, E-mail: chyji@njau.edu.cn

环境的非结构性,分水岭算法会出现标记失效,算法的可靠性不高。蔡健荣等^[6]采用圆形 Hough 变换拟合出柑橘的圆心和半径拟合圆。但由于 Hough 变换时要对所有的可能性进行“投票”,故算法效率低。本文研究发现,树上成熟果实之间的关系可以归纳为 3 种:①成熟果实相互分离且无遮挡。②成熟果实相互接触或部分重叠且无树叶遮挡。③成熟果实被叶子或未成熟果实遮挡。许多学者对第 1 种简单情况进行了研究^[5-7],果实的正确识别率高。第 3 种成熟果实被叶子或未成熟果实遮挡的情况非常复杂,本文暂不作研究。现实中成熟果实大部分是近似圆形且生长状态多为相互接触或部分重叠,这种生长状态下的形心定位和半径测量的研究对于推进农业机器视觉系统由试验阶段走向实用化和商业化阶段是非常重要的。为了能够快速准确地计算生长状态为靠拢或重叠的类圆果实的形心坐标及半径,本文在按步长获取果实轮廓上的边缘点后,采用 N 点方向编码差方法获取凹点群的分割凹点,最后对 Hough 变换算法进行改进,利用改进后的算法找出多个重叠桃子的形心坐标和半径。

1 果实图像预处理

1.1 基于 HIS 颜色模型的图像分割

HIS 颜色模型^[7]有 3 个特征量:色调 H 、饱和度 S 和亮度 I 。其中 H 的范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$,涵盖了所有可见光谱的颜色。试验中选择了 20 幅成熟桃子图像为样本,提取每幅桃子图像 30 像素 $\times$ 30 像素为特征区域,统计特征点 H 分量的分布规律,发现成熟桃子图像的色调值在 $0^\circ \sim 50^\circ$ 和 $330^\circ \sim 360^\circ$ 范围内。选取两个统计阈值 $H_1 = 50$ 、 $H_2 = 330$ 进行图像分割,试验结果表明, H 分量在实现背景分离时效果很好,如图 1a、1b 所示。

1.2 获取单像素果实轮廓

二值分割后的果实图像的黑色背景中存在面积较小的白色噪声区域。采用种子填充算法^[8]标记小白色区域删除这些噪声,处理后的二值图像中白色区域表示果实,黑色区域代表背景(图 1c);然后采用链码跟踪法获得单像素果实轮廓,最后得到单像素果实轮廓是一个由点 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 构成的闭合曲线(图 1d)。

1.3 方向编码描述果实轮廓的切线信息

以果实轮廓的下切点 T 为起始点沿着轮廓的逆时针方向,以步长 L 为间隔进行采样,依次计算逆时针方向连续 L 个边缘点的平均方向编码和平均坐标值(图 1e),获取的点称为边缘特征点(图 1f),获得的平均方向编码为该特征点的平均

方向编码^[9]。

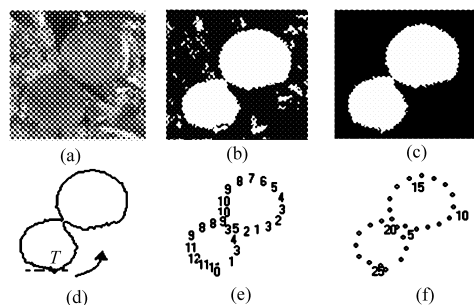


图 1 预处理后的图像

Fig. 1 Image after preprocessing

(a) 原图 (b) 分割后的图像 (c) 去噪后的二值图像

(d) 单像素轮廓 (e) 方向编码图 $L=12$ (f) 边缘特征点图 $L=12$

2 凹点搜索和匹配

2.1 算法背景

2.1.1 曲率

曲线 $y=f(x)$ 上任意一点 A 的曲率 k 为该点沿着曲线方向的切线角度的变化^[8],如图 2 所示, A 、 B 为曲线上任意 2 点。

$$k = \lim_{\Delta l} \left| \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\Delta l} \right| = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \alpha}{\Delta l} \right| \quad (1)$$

式中 α_2 ——点 A 的切线角度

Δl ——曲线 AB 段的弧长

α_1 ——点 B 的切线角度

$\Delta \alpha$ ——曲线段切线变化的角度

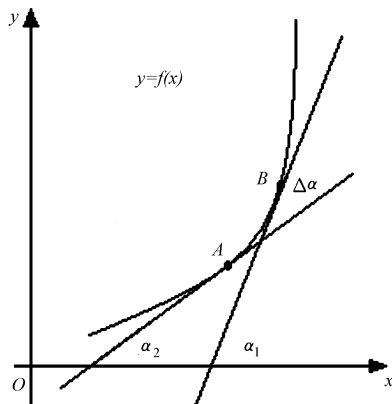


图 2 曲率示意图

Fig. 2 Sketch map of curvature

2.1.2 方向编码及方向编码差

(1) 方向编码

曲线上的像素点 P 与邻近像素点之间关系可使用方向编码^[10]来表示,邻域半径 $r=\sqrt{2}$ 时, P 点的切线方向有 8 个 $(0, 2, \dots, 14)$;邻域半径 $r=2\sqrt{2}$ 时, P 点的切线方向有 16 个 $(0, 1, 2, \dots, 15)$ ^[9]。

(2) N 点方向编码差

对于曲线上的任意特征点 x_i ,都存在指向此点

的方向编码 $D(x_{i-1})$ 与点 x_i 指向后面特征点的方向编码 $D(x_i)$, 方向编码差 $S = D(x_i) - D(x_{i-1})$ 是一个和曲率呈正比的量^[11]。为了更加准确和方便地找出曲线上的角点, 引入 N 点方向编码差的概念。 N 点方向编码差 $D_i(N)$ 是指离开点 x_i 的连续 N 个链码平均值与进入点 x_i 的连续 N 个链码平均值之差, 如图 3 所示, 图中 $x_{i-3}, \dots, x_i, \dots, x_{i+3}$ 为曲线上的点 x_i 的前驱点和后驱点。

$$D_i(N) = \sum_{k=-N}^{-1} D(x_{i-k})/N - \sum_{k=0}^{N-1} D(x_{i+k})/N \quad (2)$$

沿着逆时针方向搜索曲线, 凹点特征角点的特征是 $D_i(N)$ 是负数且 $(D_i(N) + 16) \text{ MOD } 16$ 的值大于等于 8^[11]。

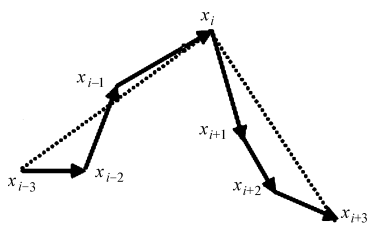


图 3 N 点方向编码差

Fig. 3 Direction coding difference of N points

2.2 N 点方向编码差定位分割凹点

2.2.1 N 点方向编码差方法搜索边缘凹点

利用果实边缘特征点的 N 点方向编码差来搜索边缘凹点, 具体算法流程如图 4 所示, 试验结果如图 5a 所示。

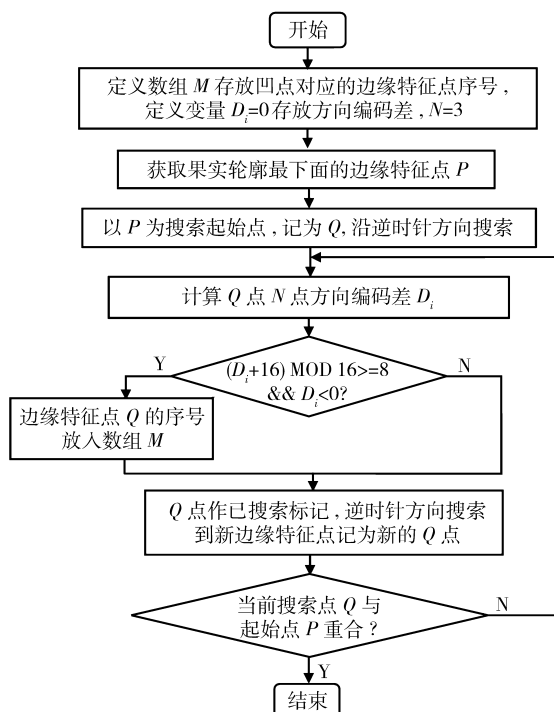


图 4 获取凹点流程图

Fig. 4 Flow chart of getting concave points

2.2.2 划分凹点群确定分割凹点

定义凹点群为 n 个相邻凹点聚集在一起构成凹点群, 当 $n=1$ 时称为孤立凹点群。

定义凹点深度 d 为边缘特征点 x_i 与线段 $x_{i-1}x_{i+1}$ 之间的直线距离称为凹点深度, 其中 x_{i-1} 为点 x_i 的前继特征点, x_{i+1} 为点 x_i 的后继特征点 (图 5b)。

$$d = 0.5 l_{x_{i-1}x_i} l_{x_i x_{i+1}} \sin \alpha / l_{x_{i-1}x_{i+1}} \quad (3)$$

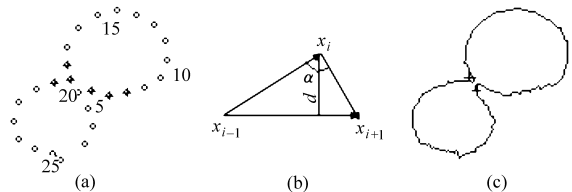


图 5 搜索分割凹点

Fig. 5 Locating segmentation concave spots

(a) 凹点搜索结果 (b) 凹点深度图 (c) 分割凹点

利用 N 点方向编码差法搜索果实轮廓后, 凹点对应的边缘特征点序号存放在数组 M 中, 为寻找分割凹点必须将这些凹点划分成独立的凹点群。由于在对果实边缘进行特征点方向编码时引入了误差, 导致一些凹点丢失 (图 5a), 试验中对凹点群进行了扩展, 方法是将凹点群最近前驱特征点和最近的后驱特征点都加入该凹点群。最后, 找出每个凹点群中凹点深度大于阈值 T 的点称为备选分割凹点。若凹点群中的备选分割凹点的个数为 1, 则认为该点就是分割凹点; 若凹点群中的备选分割凹点的个数大于 1, 选择方法是先利用 N 点方向编码差法删除非凹点, 然后选择凹点深度最大的作为分割凹点 (图 5c)。

3 重叠果实实心和半径确定

3.1 算法原理

圆 O 与圆 C 相交于 $p_1(x_1, y_1)$ 和 $p_2(x_2, y_2)$, 以 p_1 点为起点逆时针方向旋转, 选取位于 p_1 与 p_2 之间圆弧上的任意一点 $q_1(x'_1, y'_1)$, 分别构成不重合的弦 p_1p_2 、 p_1q_1 和 q_1p_2 。根据圆周上任意两条不平行弦的中垂线必经过圆心的性质, 可以确定圆心的坐标和半径^[9], 即 p_1p_2 和 p_1q_1 的中垂线 $y = k_1x + b_1$ 与 $y = k_2x + b_2$ 必相交于圆心 O , 同理 p_1p_2 和 p_2q_1 的中垂线以及 p_2q_1 和 p_1q_1 的中垂线也都必相交于圆心 O , E, F 分别为弦 p_1q_1 和 p_1p_2 的中点 (图 6)。

圆 O 的圆心坐标为

$$\begin{cases} x_o = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2} \\ y_o = \frac{k_2 b_1 - k_1 b_2}{k_2 - k_1} \end{cases} \quad (4)$$

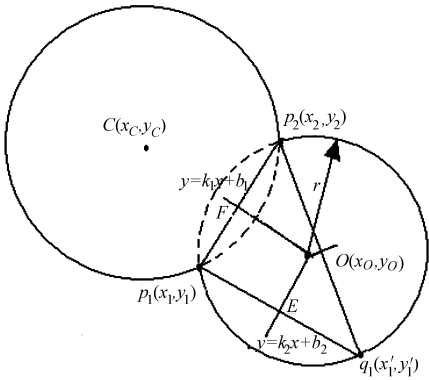


图 6 重叠的圆

Fig. 6 Overlapped circle

其中 $k_1 = -\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$ $k_2 = -\frac{x'_1 - x_1}{y'_1 - y_1}$
 $b_1 = \frac{y_1 + y_2}{2} - k_1 \frac{x_1 + x_2}{2}$ $b_2 = \frac{y_1 + y'_1}{2} - k_2 \frac{x_1 + x'_1}{2}$
圆 O 的半径为

$$r = \sqrt{(x_1 - x_O)^2 + (y_1 - y_O)^2} \quad (5)$$

3.2 改进 Hough 变换计算果实形心

果实不是标准圆,因此仅有两条相交的弦并不能准确地计算出桃子的形心和半径,且多个重叠果实形心和半径的计算复杂度高,本文提出了利用改进的 Hough 变换^[9]定位果实形心,算法步骤如下:

(1)初始化二维累加器数组 $H(x,y) = \{0\}$;其中 x,y 为原始图像的行列大小, N 为果实边缘特征点个数。

(2)选择序号最小的分割凹点 P 作为搜索起点,记该点为 Q 。

(3)改进圆形随机 Hough 变换

①从 Q 点开始沿着果实轮廓逆时针方向搜索至最邻近分割凹点 Q_1 ,计算 Q_1 与 Q 的边缘特征点序号之差记为 $S = (Q_1 - Q + N) \text{ MOD } N$, 定义变量 $i = 1$ 。

②对圆弧 $\widehat{QQ_1}$ 之间边缘特征点进行等间隔采样,采样点 X 为 $(Q + iS/R) \text{ MOD } N$, 其中 R 为等分数。

③根据圆周上任意两条不平行弦的中垂线必经过圆心的性质,由 3 条互不平行的弦 QQ_1 、 QX 和 XQ_1 构成 3 组互不平行的弦,计算公式为 $x = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2}$, $y = \frac{k_2 b_1 - k_1 b_2}{k_2 - k_1}$ 使对应的累加器 $H(x,y)$ 加 1。

④如果 X 点处在弧 $\widehat{QQ_1}$ 之间时,重复步骤②、③、④;否则转至⑤。

⑤ Q_1 点作为新的 Q ,判断 Q 与起点 P 是否重合,若不重合则返回③;若重合转至(4)。

(4)找出 $H(x,y)$ 数组中领域和值大于 M 的极

值区域,并合并邻近极值区域,最终确定多个果实的形心坐标。

(5)根据已经算出的形心坐标和分割凹点及边缘特征点,加上半径约束条件计算出各个果实的半径。

4 试验结果及分析

4.1 试样样本及试验环境

试验中使用的桃子图像由 Canon IXUS 95 摄像机在南京农业科学研究所桃园拍摄。计算机硬件设备为联想 Thinkpad x61 笔记本, Intel 酷睿 2 双核 T7300 处理器, 2 GHz 主频, 2 G 内存, 2 MB 显存。操作系统是 WindowsXP, 程序设计语言为 VC++6.0。

4.2 试验结果

选取 3 幅具有典型特征的图像(图 7a~7c)用来验证上述算法。选取步长 $L=12$ 对果实边缘进行特征点采样,利用 3 点方向编码差搜索边缘凹点,利用改进 Hough 变换计算果实形心时,圆弧等分数 R 为 5,试验结果如图 7 所示。表 1 为本文算法在步

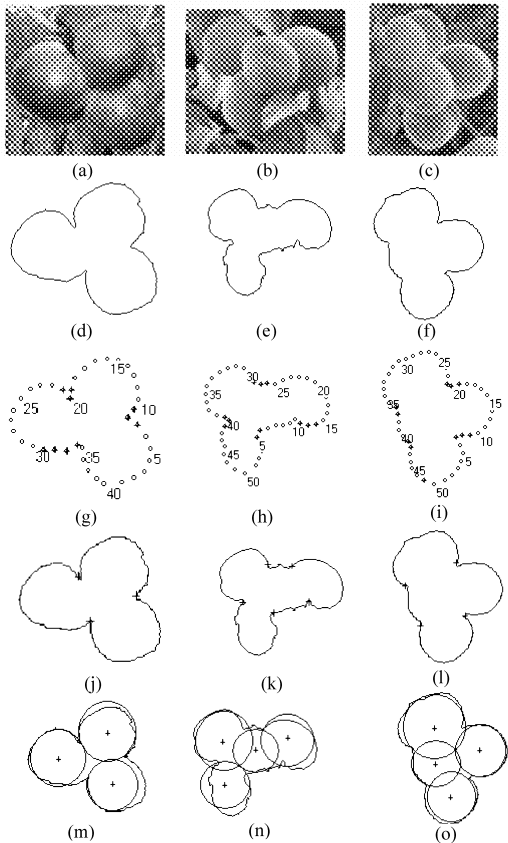


图 7 试验图像 ($L=12, R=5$)

Fig. 7 Experiment image ($L=12, R=5$)

(a) 3 个桃子重叠 (b) 4 个桃子重叠 (c) 5 个桃子重叠
(d)~(f) 图 7a~7c 的单像素轮廓 (g)~(i) 图 7a~7c 的凹点搜索结果 (j)~(l) 图 7a~7c 的定位分割凹点
(m)~(o) 图 7a~7c 的识别结果

长 L 和等分数 R 取不同值时与传统 Hough 变换的识别耗时对比。

与时间复杂度为 $O(N^3)$ 的传统 Hough 变换相比,本文算法的时间复杂度为 $O(N^2)/L/R$ 。识别耗时大大缩短。另外,步长 L 和等分数 R 的选择对识别的耗时和精度会有影响, L 和 R 太小耗时偏长,反之检测结果误差较大。

表 1 识别速度对比

Tab.1 Comparing of recognition speed

图号	传统 Hough 变换 识别耗时/ms	本文算法识别耗时/ms			
		$R=3$		$R=5$	
		$L=8$	$L=12$	$L=8$	$L=12$
7a	756	211	196	187	171
7b	798	225	198	196	183
7c	817	239	209	203	188

在自然光照环境下拍摄了 4 组共 40 幅未被树叶遮挡的成熟桃子图像。第 1 组为 2 个桃子重叠,第 2 组为 3 个桃子重叠,第 3 组为 4 个桃子重叠,第 4 组为 5 个桃子重叠。试验中对每组 10 幅图像使用本文算法进行处理,试验结果如表 2 所示。剔除误识别和识别丢失的桃子外,识别定位精度如表 2 和表 3 所示。

表 2 识别结果对比 ($L=12,R=5$)

Tab.2 Comparing of recognition ($L=12,R=5$)

组别	实际桃子 个数/个	正确识别桃子 个数/个	正确识别率 /%
第 1 组	20	18	90.0
第 2 组	30	26	86.7
第 3 组	40	34	85.0
第 4 组	50	38	76.0

表 3 相对误差对比 ($L=12,R=5$)

Tab.3 Comparing of relative error ($L=12,R=5$)

组别	圆心平均相对误差/%	半径平均相对误差/%
第 1 组	3.57	5.89
第 2 组	4.83	4.25
第 3 组	6.71	5.31
第 4 组	6.86	6.98

4.3 试验结果分析

分析试验结果可以得出以下结论:本文提出的算法能够找出大部分的圆形果实,通过改进的 Hough 变换算法拟合出来的果实形心和半径与实际果实误差在允许范围之内。造成识别丢失和测量误差的主要原因有:①虽然本文讨论的算法是针对未被遮挡的重叠果实,但由于环境是非结构化的,绝对不被遮挡的果实是很少,因此存在识别丢失的情况。②多果相互粘连重叠生长时,有些果实边缘的大部分被其他果实遮挡,这样会造成识别丢失的现象(图 7o)。③基于生物的自身特点,桃子的轮廓线不是真正的圆,而以步长 L 为间隔进行采样,提取边缘特征点的操作会带来一定误差。④利用两条相交的弦可以确定圆的圆心坐标和半径。但果实并不是标准圆,3 组两两相交的弦计算出的桃子形心坐标和半径和真实的桃子之间存在误差。⑤利用改进 Hough 变换计算果实形心和半径时,对圆弧 $\widehat{QQ_1}$ 之间边缘特征点进行等间隔采样,等分数 R 的取值也会造成误差。

5 结论

- (1)提出的基于凹点搜索的重叠果实的定位检测算法可有效地解决重叠果实的分离和测量问题。
- (2)与传统 Hough 变换相比,本文提出的改进后圆形 RHT 算法识别耗时更短。

参 考 文 献

1 Bato Pepito Menguito, Masateru Nagata, Cao Qixin, et al. Study on sorting system for strawberry using machine vision [J]. Journal of JSAM, 2000, 62(1): 100 ~ 110.

2 Edan Y, Miles G E. Design of an agricultural robot for harvesting melons [J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36(2): 593 ~ 603.

3 Edan Y, Rogozin D, Flash T, et al. Robotic melon harvesting [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000, 16(6): 831 ~ 835.

4 谢志勇,张铁中,赵金英. 基于 Hough 变换的成熟草莓识别技术[J]. 农业机械学报,2007,38(3):106 ~ 109.
Xie Zhiyong, Zhang Tiezhong, Zhao Jinying. Ripened strawberry recognition based on Hough transform [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(3):106 ~ 109. (in Chinese)

5 尹建军,毛罕平,王新忠,等. 不同生长状态下多目标番茄图像的分割方法[J]. 农业工程学报,2006,22(10):149 ~ 153.
Yin Jianjun, Mao Hanping, Wang Xinzhong, et al. Automatic segmentation method for multi-tomato images under various growth conditions [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 149 ~ 153. (in Chinese)

6 蔡健荣,李玉良,范军,等. 成熟柑橘的图像识别及空间定位研究[J]. 微计算机信息,2007,23(34):224 ~ 225,314.
Cai Jianrong, Li Yuliang, Fan Jun, et al. Image recognition and three dimensional location of mature oranges from nature scene

- [J]. Transactions of the Control & Automation, 2007, 23(34): 224 ~ 225, 314. (in Chinese)
- 7 尹建军, 王新忠, 毛罕平, 等. RGB 与 HSI 颜色空间下番茄图像分割的对比研究[J]. 农机化研究, 2006(11): 171 ~ 174.
Yin Jianjun, Wang Xinzong, Mao Hanping, et al. Contrastive research on tomato image segmentation under RGB and HSI color space[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(11): 171 ~ 174. (in Chinese)
- 8 尚振宏, 刘明业. 二值图像中拐点的实时检测算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(3): 295 ~ 298.
Shang Zhenhong, Liu Mingye. Real time corner detection in binary image[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(3): 295 ~ 298. (in Chinese)
- 9 谢忠红, 姬长英, 郭小清, 等. 一种基于改进 Hough 变换的类圆果实目标检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 157 ~ 162.
Xie Zhonghong, Ji Changying, Guo Xiaoqing, et al. An object detection method for quasi-circular fruits based on improved Hough transform[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 157 ~ 162. (in Chinese)
- 10 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 204 ~ 210.
- 11 朱煜, 江林佳, 肖玉玲. 材料图像目标粘连点定位与分割方法研究[J]. 南京理工大学学报, 2008, 32(1): 110 ~ 113.
Zhu Yu, Jiang Linjia, Xiao Yuling. Concave spots localization and region segmentation in fibrous material image based on chain codes[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2008, 32(1): 110 ~ 113. (in Chinese)
- 12 王小华, 谢君廷, 李本伍. 一种新的基于梯度方向角的圆检测算法[J]. 机电工程, 2008, 25(3): 30 ~ 32.
Wang Xiaohua, Xie Juntong, Li Benwu. A new algorithm for detecting circles based on gradient angles[J]. Journal of Mechanical and Electrical Engineering, 2008, 25(3): 30 ~ 32. (in Chinese)
-

(上接第 185 页)

参 考 文 献

- 1 Benneweis R K. Status of the ISO 11783 serial control and communications data network standard [C]. 2005 ASABE Annual Meeting, Paper No. 051167, Tampa, MI, USA, 2005.
- 2 周建军, 郑文刚, 李素, 等. 基于 ISO 11783 的拖拉机系统导航控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 184 ~ 188.
Zhou Jianjun, Zheng Wengang, Li Su, et al. Automatic navigation control system for tractor based on ISO 11783 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 184 ~ 188. (in Chinese)
- 3 ISO 11783—4: 2001 (E) Tractors and machinery for agriculture and forestry—serial control and communications data network—part 4: network layer[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 2001.
- 4 Darr M J. Controller area network based distributed control for autonomous vehicles[J]. Transactions of the ASABE, 2005, 48(2): 479 ~ 490.
- 5 Deere & Company. iTEC pro operator's manual, OMPC21754[M]. Moline, Ill, US, 2008.
- 6 Fantuzzi C, Marzani S, Secchi C, et al. A distributed embedded control system for agricultural machines[C] // 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics. Singapore: IEEE Press, 2006: 898 ~ 903.
- 7 彭可. 控制网络系统性能分析、系统设计和网络互连的研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
Peng Ke. Research and application of performance analysis, system design and network interconnection in control network system[D]. Changsha: Central South University, 2004. (in Chinese)
- 8 Anton Cervin, Martin Ohlin, Dan Henriksson. Simulation of networked control systems using TrueTime[C] // 3rd International Workshop on Networked Control Systems: Tolerant to Faults. Nancy, France, 2007.
- 9 谢斌, 毛恩荣. 拖拉机电液悬挂系统中 CAN 总线智能节点研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 1 ~ 3.
Xie Bin, Mao Enrong. Development of CAN intelligent nodes of tractor electronic hydraulic hitch system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12): 1 ~ 3. (in Chinese)