

基于梯度相位编组的树枝识别新算法

谢忠红^{1,2} 郭小清² 姬长英¹ 朱淑鑫²

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

摘 要 为了能够快速准确地计算出果树枝干的空间位置,提出了一种基于梯度相位编组的 Hough 变换树枝检测新算法。利用改进的平方梯度法计算边缘点的梯度相位角,找出梯度相位直方图中多个阈值大于 T 的峰值。然后将具有相近梯度相位角的边缘点归为一组。最后对每组中的边缘点采用改进的两点表决 Hough 变换算法找出对应的直线参数。利用梯度相位角进一步验证参数的正确性。研究表明,提出的梯度相位编组直线检测方法具有速度快、检测误差小和鲁棒性强的特点,能够快速准确地实现果树树枝的定位和检测,对部分被遮挡的树枝的识别效果也较好。

关键词 相位编组,改进的 Sobel 算子,梯度相位直方图,平方梯度,两点 Hough 变换

中图法分类号 TP391.41 **文献标识码** A

New Method for Branch Recognition Based on Gradient Phase Grouping

XIE Zhong-hong^{1,2} GUO Xiao-qing² JI Chang-ying¹ ZHU Shu-xin²

(College of Engineering, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210031, China)¹

(College of Information Technology, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)²

Abstract A new method of Hough transform based on gradients phase grouping for branches detection was proposed to locate the position of branches of fruit trees accurately and rapidly. After the gradient phase of edge points was calculated by using the squared gradient method, the histogram of gradients's direction was calculated. From the histogram, several peak values were found by threshold T . Then edge points were grouped according to their gradient phases, and points in each group almost had the same gradient's direction. At last, an improved two-points Hough transform was applied to edge points in each group to calculate the parameters of lines, and the gradient's direction of every group was used to affirm the correctness of the parameters. The research results show that the proposed method has the merits of high speed, low error and strong robustness, can locate the branches of fruit trees accurately and fastly, and also can detect part-covered branches satisfactorily.

Keywords Phase grouping, Improved sobel operator, Histogram of gradient's phrases, Squared gradient, Two points hough transform

采摘机器人采摘果实时经常会遇到树枝等障碍物,如果视觉系统不能准确定位枝干,任由机械手进行粗暴作业,会折断大量树枝、损坏机械臂和机械手,因此研究枝干的识别和定位具有实用价值。从已有的文献看,关于障碍物的识别和定位的研究较多,沈志熙、黄翰敏等^[1]针对复杂交通场景提出了基于小波模极大值和支持向量机的障碍物检测方法;庾宇翔、石繁槐^[2]等利用双目视觉系统的立体计算原理,讨论了障碍物三维定位的计算方法;蔡健荣、周小军等^[3]针对柑橘采摘机器人遇到树枝障碍物的处理方法是提取障碍物骨架和特征点,并利用立体匹配恢复障碍物的三维信息。但已有的方法识别速度和精度都不高,且针对枝干类障碍物识别的较少。

Hough 变换是检测直线的有效方法,它在图像分析和计算机视觉、模式识别领域得到广泛的应用^[4]。Hough 变换具有强鲁棒性和良好的抗干扰能力,但同时高时间复杂度和高空间复杂度的缺点也阻碍其在性能要求很高的领域的应

用^[4]。近年来,许多人提出了修正的 Hough 变换方法。邱力为等提出了基于两点组合 Hough 变换直线检测算法^[5];Chen 等人提出了随机 Hough 变换算法^[6]。

本文提出了一种梯度相位编组的树枝识别新方法,即首先利用梯度相位直方图找到树枝区域的边缘点,并对边缘点进行预分组,从而降低无效采样概率,减少噪音点;然后对每组中边缘点采用改进的两点 Hough 变换,检测出可能存在的直线;最后根据边缘最强梯度方向与直线边缘垂直的原理进一步确认直线参数,减少识别误差。实验结果表明,本算法在保证精度的情况下,可以降低复杂度,提高识别速度,实现树枝目标的实时检测。

1 算法背景

1.1 梯度相位编组原理

1.1.1 梯度及平方梯度方法计算相位

图像轮廓是灰度值发生突然改变的位置,轮廓上的像素

到稿日期:2011-06-23 返修日期:2011-11-22 本文受国家高技术研究发展计划(2006AA10Z259)资助。

谢忠红 博士生,讲师,主要研究方向为计算机图像处理、模式识别、农业机器人视觉, E-mail: xiezh@njau.edu.cn;姬长英 博士生导师,主要研究方向为新型农业机械理论与技术、农业机器视觉。

点都有对应的梯度方向,实际上对比度大且方向一致的轮廓容易引起视觉的关注。如果物体的边缘接近于直线,边缘上大部分点的梯度方向是一致的且与轮廓线方向垂直^[7]。但传统的梯度计算方法针对梯度方向为 $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 的边缘计算值和实际值误差较小,其他情况下却存在较大偏差,这是由梯度方向变化速度过快引起的。为了使梯度方向量场的变化趋于缓慢,本文使用改进的平方梯度法^[8]计算边缘梯度方向。具体算法如下:

1) 利用 Sobel 算子(见图 1)计算图像的梯度幅值矩阵 $M(x, y)$, 给定阈值 $T=10$ 和 $N=6$ 。

2) 逐行扫描梯度幅值矩阵 $M(x, y)$, 若点 (x, y) 是边缘点 ($M(x, y) > T$), 则计算以点 (x, y) 为中心、 $(N+1)$ 为边长的正方形领域的平方梯度方向 θ 作为点 (x, y) 的梯度方向。

$$\theta = \pi + 0.5 \times \arctan\left(\frac{2G_{xy}}{G_{xx} - G_{yy}}\right), \theta \in [\pi/2, 3\pi/2] \quad (1)$$

其中,

$$\begin{aligned} G_{xx} &= \sum_{i=-N/2}^{N/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} G_x^2(x+j, y+i), M(x+j, y+i) > T \\ G_{yy} &= \sum_{i=-N/2}^{N/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} G_y^2(x+j, y+i), M(x+j, y+i) > T \\ G_{xy} &= \sum_{i=-N/2}^{N/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} G_x(x+j, y+i) G_y(x+j, y+i), \\ &M(x+j, y+i) > T \end{aligned}$$

图像边缘方向与边缘梯度方向相互垂直, 则边缘方向 $\varphi = \theta - \pi/2, \varphi \in (0, \pi)$ (2)

$$\begin{aligned} (a) \text{ Level operator} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ (b) \text{ Vertical operator} & \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

图 1 Sobel 算子

1.1.2 梯度相位直方图

梯度相位直方图定义^[7]为具有相同的梯度相位角且梯度值大于阈值 T 的所有像素点之和。

将梯度相位角均匀量化为 n 个区间, 如图 2(a) 所示。若图像中的目标边缘是一组近似的直线, 则梯度相位直方图有一个峰值(见图 2(b)); 若图像中的目标有多组不平行的边缘, 则梯度相位直方图应该有多个峰(见图 2(c))。

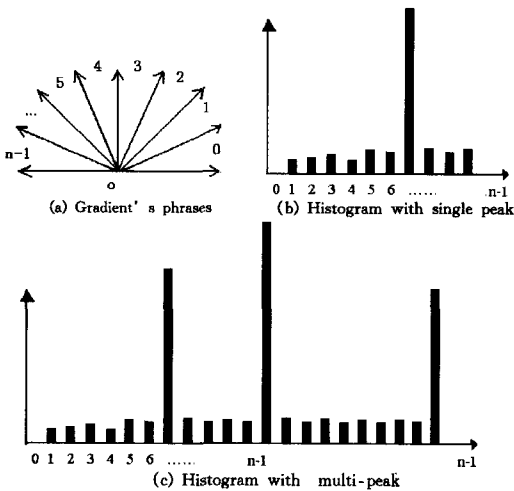


图 2 梯度相位直方图

1.1.3 直线编组原理

若图像中存在多条互不平行的近似直线的边缘轮廓线, 则相位直方图中会出现多个峰值(见图 2(c)) $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$, 每个峰值对应的梯度相位角为 $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ 。按

行扫描图像, 根据梯度相位值对边缘点进行编组^[9], 每组中的边缘点的梯度相位接近 k_i 。这样就将图像中近似在一条直线(或平行直线)上的所有点归为一个小组, 从而降低后续 Hough 变换算法的复杂度。

1.2 改进的两点 Hough 变换

Hough 变换的基本思想是点-线的对偶性质, 将共线的点变换为相交于同一点的曲线, 巧妙运用了共线和相交的关系, 使直线提取问题转化为计数问题^[10](见图 3)。

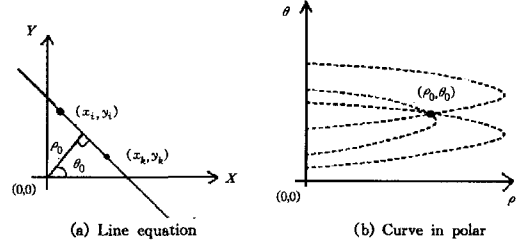


图 3 Hough 变换基本原理图

针对 Hough 变换运算量大的缺点, 本文提出两点表决 Hough 变换^[11]。基本原理是直线上任意两点的斜率相等。基于上述特点设计如下算法:

- 1) 将待检测的 N 个点的坐标放入一维数组 pos 中。定义两个 1 维数组 $theta$ 和 $RuArr$, 初始化 $i=1$ 。
- 2) 如果 $i \leq N$, 则从 pos 中取第 i 个点, 坐标为 (x_i, y_i) , 否则转到 6)。
- 3) 遍历 pos 数组中第 i 点后的所有点 $j = i+1, i+2, \dots, N$, 坐标为 (x_j, y_j) 。
- 4) 计算点 i 和 j 之间直线的斜率 $\theta = \arctan(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i})$ 和 $\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$, 在 $theta$ 和 $RuArr$ 对应位置增 1。
- 5) $i++$, 返回 2)。
- 6) 找出 $theta$ 和 $RuArr$ 中的区域峰值, 写出直线方程。算法结束。

2 基于梯度相位编组的直线检测算法

算法步骤如下:

- 1) 设原始图像为 $f(i, j)_{M \times N}$, 首先进行预处理操作, 包括平滑、去噪和二值化, 生成二值图像 $bin(i, j)_{M \times N}$ 。
- 2) 使用改进的 Sobel 算子进行边缘检测, 计算出梯度矩阵 $M(i, j)$ 和梯度相位矩阵 $H(i, j)$ 。
- 3) 对梯度相位矩阵 $H(i, j)$ 进行中值滤波处理。
- 4) 统计边缘梯度相位直方图 $thetaStatis(k)$, $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$, 实验中将 $[0 \sim 180]$ 分成 n 个区间, $n=180$ 。
- 5) 根据梯度方向直方图, 实现边缘轮廓方向粗估计。找出相位直方图 $thetaStatis$ 中大于阈值 T 的多个峰值所对应的梯度相位 $K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$, 逐行扫描梯度矩阵 $M(i, j)$ 和梯度相位矩阵 $H(i, j)$ 。根据梯度相位峰值 $K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$ 将边缘点进行分组, 使得每组边缘点的梯度相位近似等于 k_i , 每组边缘点的坐标存放在数组 $posArr_i$ 中。
- 6) 对每组边缘点 $posArr_i$ 进行两点表决 Hough 变换, 找出数组 $theta_i$ 中的区域峰值的平均值 θ 。由梯度方向的定义可知, 若 θ 与该组的梯度相位 k_i 呈垂直关系, 可以确认找到了边缘方向。

7) 找出两点表决 Hough 变换产生的另一个数组 $RuArr_i$ 中大于阈值 T 的区域峰值 ρ_{ij} , $j \geq 1$ 。若 $j > 1$, 说明存在多条斜率为 θ 的树枝。

8)根据计算的 θ 和 ρ_{ij} 绘制对应直线。

3 实验及结果分析

3.1 实验装置及实验方法

本文所提算法的实验硬件环境是:联想 Thinkpad x61, Intel 酷睿 2 双核 T7300 处理器,2GHz 主频,2G 内存,2MB 显存,摄像设备为 Point Grey Research(PGR)公司生产的立体视觉产品 Bumblebee2,基线长 120mm,焦距为 3.8mm。软件环境为:操作系统是中文 WindowsXP,软件为英文版 MATLAB 6.5。实验素材有 3 种:1)自制仿真图像;2)在实验室环境中拍摄的果树枝干图像;3)在徐州丰县苹果种植园拍摄的树枝图像。

3.2 实验结果

为了验证算法的检测精度和效率,制作 2 幅仿真图像进行验证。仿真图像的尺寸为 200×200 ,直线目标的宽度为 50 个像素。图 4(a)是两条直线目标的仿真图,图 4(b)是加入 0.5%椒盐噪声的仿真图。利用本文算法计算图 4(a)中两条直线对应的 ρ_1 为 86pixel, θ_1 为 72° ; ρ_2 为 136.5pixel, θ_2 为 124° 。图 4(b)中两条直线对应的 ρ_1' 为 86.5pixel, θ_1' 为 71.5° ; ρ_2' 为 136.5pixel, θ_2' 为 124° 。实验结果表明本文算法对噪声不敏感。

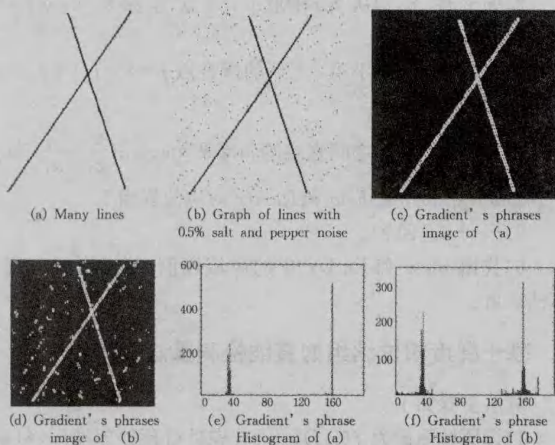


图 4 仿真图像直线提取

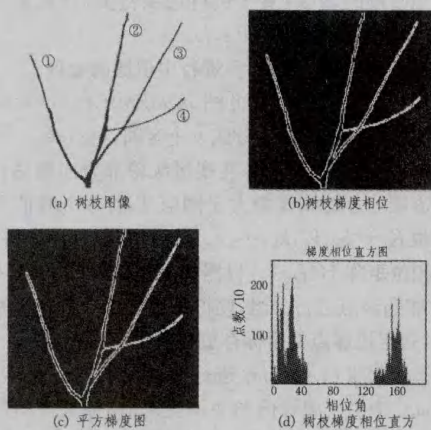


图 5 树枝提取实验结果

在实验室环境中拍摄一组果树树枝图像。首先对大小为 420×390 的树枝图像进行预处理操作,获取二值图像,然后利用本文算法检测树枝。实验结果如图 5 和表 1 所示。

表 1 图 5(a)中树枝识别结果

树枝 编号	人工测 量角度 / $^\circ$	Hough 变换		两点 Hough 变换		本文算法		本算法角度 相对误差 /%
		ρ /pixel	θ / $^\circ$	ρ /pixel	θ / $^\circ$	ρ /pixel	θ / $^\circ$	
1	71	19.5	73	21	74	19.5	73.5	3.52
2	103.5	254	102	254	105	253	102.5	0.97
3	120	337	119	345	115	339.5	120.5	0.42
4	168	348.5	157.5	331	154	348	158	5.95

实验中采用本文算法、传统 Hough 变换和两点 Hough 变换 3 种算法对图 4(a)、图 4(b)和图 5(a) 3 幅图像分别进行了 10 次识别实验。对平均识别时间(见表 2)进行了对比,结果表明本文算法识别速度远高于传统 Hough 变换。

表 2 各种算法直线检测性能比较

图号	Hough 变换平均 识别时间/ms	两点 Hough 变换 平均识别时间/ms	本文算法平均 识别时间/ms
图 4(a)	8047	3125	2307
图 4(b)	6282	2568	1908
图 5(a)	14969	4956	3904

为验证算法的实用性,以自然环境中拍摄的 400×380 的树枝图像为实验样本(图 6(a),6(d))。首先进行预处理,分割出树枝目标,去除噪声点(图 6(b),6(e)),然后利用本文算法检测树枝(图 6(c),6(f),6(g),6(h))。实验结果如表 3 所列。

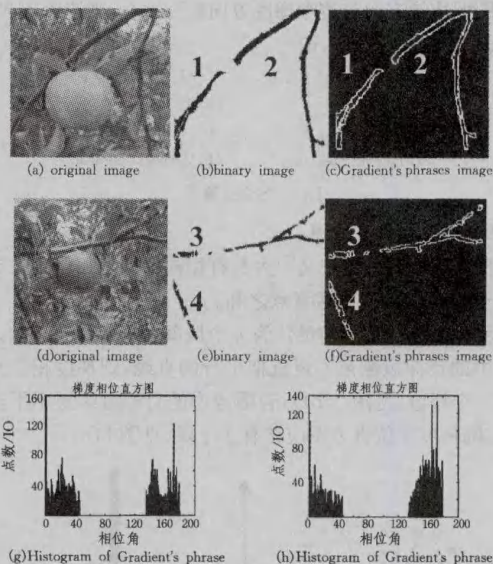


图 6 自然场景中树枝提取实验结果

表 3 自然场景中树枝识别结果

算法	图号	树枝	识别结果			识别时间 /ms
			ρ /pixel	θ / $^\circ$	实测角度	
本文 算法	图 6(a)	树枝 1	147.5	139.5	142	3094
		树枝 2	225.5	81.5	82	
	图 6(d)	树枝 3	146.5	170.5	181	3306
		树枝 4	115	53.5	55	
Hough 变换 算法	图 6(a)	树枝 1	147.5	139.5	142	9017
		树枝 2	225	81	82	
	图 6(d)	树枝 3	147	171	181	9965
		树枝 4	115	54	55	
两点 Hough 变换	图 6(a)	树枝 1	147.5	139.5	142	4398
		树枝 2	225	81	82	
	图 6(d)	树枝 3	146	170.5	181	4513
		树枝 4	115	53.5	55	

(下转第 265 页)

参考文献

- [1] Sommer C. Digital image analysis and identification of eggs bovine parasitic nematodes[J]. Journal of Helminthology, 1996, 70(2):143-151
- [2] Sommer C. Quantitative characterization, classification and reconstruction of oocyst shapes of Eimeria species from cattle [J]. Cambridge University Press, 1988, 116:21-28
- [3] Yang Y, Park D, Kim H, et al. Automatic identification of human helminth eggs on microscopic fecal specimens using digital image processing and an artificial neural network [J]. IEEE Trans. Biomed. Eng., 2001, 48(6):718-730
- [4] 赵亚娥. 人体寄生虫卵图像的自动识别[J]. 中国体视学与图像分析, 1997, 2(3):135-138
- [5] 傅承彬, 詹希美. 数字图像技术在并殖吸虫自动分类中的应用研究[J]. 中国人兽共患病杂志, 2002, 18(1):39-43
- [6] 罗泽举, 宋丽红, 等. 基于新特征提取的寄生虫卵图像识别研究[J]. 计算机应用, 2007, 27(6):1485-1487
- [7] 彭社欣, 廖松涛. 寄生虫卵图像计算机自动识别技术研究[J], 湖南师范大学学报:医学版, 2005, 2(2):11-15
- [8] CASTAN6N C A B, Fraga J S, Fernandez S, et al. Biological shape characterization for automatic image recognition and diagnosis of protozoan parasites of the genus [J]. Eimeria, Pattern Recognition, 2007, 40:1899-1910

- [9] 聂生东, 邱建峰, 郑建立. 医学图像处理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2010
- [10] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models [C] // Proceeding of the First Invitational Conference on Computer Vision. IEEE Computer Society Press, 1987:259-268
- [11] Malladi R, Sethina J, Venuri A. Shape modeling with front propagation: A level set approach [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1995, 17(2):158-175
- [12] Sethian J A. Level set methods and fast marching methods, Cambridge[M]. Cambridge University Press, 1999
- [13] Osher S, Fedkiw R. Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces[M]. New York: Springer-Verlag, 2002
- [14] Li C M, Xu C Y, Gui C F, et al. Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation [C] // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego, 2005:430-436
- [15] Sarfraz M. Object Recognition using Fourier Descriptors: Some Experiments and Observations: Computer Graphics, Imaging and Visualization-Techniques and Applications[M] // Banissi E, Sarfraz M, Huang M L, et al., eds. IEEE Computer Society, USA, 2006:281-286
- [16] Zhang J, Zhang X, Krim H, et al. Object representation and recognition in shape spaces[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(5): 1143-1154

(上接第 256 页)

3.3 讨论和结果分析

1) 利用 Sobel 算子计算边缘平方梯度相位, 解决了传统梯度相位误差大的问题。这是本文算法能否成功的基础和关键。

2) 用边缘梯度方向直方图找到树枝区域的边缘点, 并对这些点进行预分组, 降低了无效采样概率, 减少了噪音点。在此基础上利用改进的两点 Hough 变换进行直线检测, 能够减少投票次数, 提高检测速度。

3) 基于梯度相位编组的树枝识别和定位算法不仅能够识别完整树枝, 对于局部被遮挡的、非连续枝干也有很好的识别效果(如图 6(c), 6(f))。

4) 大部分果树枝干接近于直线形状, 因此本文算法能够有效地实现检测。对于弯曲度不太大的树枝, 检测误差也在允许范围内(图 5(a)中的 4 号树枝)。但极少数弯曲度很大的枝干检测误差较大, 需要进一步研究。

5) 利用传统的 Hough 变换对 $N \times N$ 大小的图像进行检测, 时间复杂度为 $O(N^3)$, 运算速度慢; 本文算法的时间复杂度近似为 $M * O(N^2)$, 其中 M 为树枝根数。

结束语 本文提出的基于梯度相位编组的树枝识别新方法能够实现果树枝干的测量和定位, 为果实采摘机器人躲避障碍物提供实时决策信息。研究结果表明, 与传统 Hough 变换相比, 改进后直线检测算法识别速度更快, 且能够快速准确地检测出实际场景中树枝的位置和方向。

参考文献

- [1] 沈志熙, 黄瀚敏, 黄席越, 等. 基于视觉的室外移动机器人障碍物

检测方法[J]. 机器人, 2009, 31(4):304-310

- [2] 庾宇翔, 石繁槐, 林涛, 等. 一种移动焊接机器人障碍物检测与定位方法[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(Sup):126-128
- [3] 蔡建荣, 周小军, 王峰, 等. 柑橘采摘机器人障碍物识别技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11):171-175
- [4] 玛莉, 毛俊勇. 噪声环境下基于局部不确定性度量的多直线检测算法[J]. 中国图形图像学报, 2010, 15(4):624-630
- [5] 邱力为, 宋子善. 直线参数检测的快速哈夫变换[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29(8):741-744
- [6] Murakami K, Naruse T. High speed line detection by Hough transform in local area [C] // Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition. Barcelona, Spain: IEEE Press, 2000:467-470
- [7] 傅丹, 朱宪伟, 周剑, 等. 实时提取直线参数的两步算法[J]. 光学技术, 2007, 33(6):827-829
- [8] Bonc A, Leo T. A bayesian approach to the Hough transform for line detection [J]. Journal of IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2005, 35(6):945-955
- [9] 张娟, 沙爱民, 孙朝云, 等. 基于相位编组法的路面裂缝自动识别[J]. 中国公路学报, 2008, 21(3):39-42
- [10] 孙慧贤, 张玉华, 罗飞路. 基于模糊快速 Hough 变换的盘孔边界识别方法[J]. 光子学报, 2010, 39(2):335-339
- [11] 郭俊, 张婉怡, 严飞, 等. 基于 Hough 变换的数字全息干涉条纹检测[J]. 光子学报, 2011, 40(1):116-120
- [12] Mei X. Automatic Detection of Pavement Surface Crack Depth on Florida Roadways[D]. Tampa: University of South Florida, 2001
- [13] 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