

农林环境机器视觉导航路径生成算法及应用^{*}

杨庆华 吴佳艺 鲍官军 高峰

(浙江工业大学机械制造及自动化教育部重点实验室, 杭州 310032)

【摘要】 提出两种自然环境中的路径导航线生成算法:对于矮小作物规则分布的农田场景,在标准 Hough 变换的基础上,预先检测共线点峰值的限定偏角阈值,以迅速检测关键信息;对于林地环境及类林地环境的高大作物农田场景,寻找树干与地面的交点,形成机器人行走的左右边界,再求两边交点的中值产生一系列点簇。对该列点簇进行 Hough 变换检测直线作为导航线,或应用最小二乘法拟合左右边界,求其中线作为路径导航线。Matlab 对比仿真表明,几种算法对各自适用的场景具有可靠稳定的路径辨识能力,可对图像进行有效的批量处理。

关键词: 路径导航 农林环境 机器视觉 Hough 变换 最小二乘拟合

中图分类号: TP242.6⁺2

文献标识码: A

Algorithms of Path Guidance Line Based on Computer Vision and Their Applications in Agriculture and Forestry Environment

Yang Qinghua Wu Jiayi Bao Guanjun Gao Feng

(The MOE Key Laboratory of Mechanical Manufacture and Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract

Two advanced algorithms of generating path guidance line are proposed: the Hough transform-based is to pre-limit the angular value of possible collinear points before peak detection. This enables swift key-info abstraction in orderly-planted fields while offsetting imperfections brought by previous image segmentation, the solution to generate guidance line in forestry environments and locate points of trunk-and-earth intersection, then a dot array in the middle of the two point series is obtained. Then two methods are applied to process the dot array: either to detect a line for guidance using Hough transform or to least-square fit the two point series, so a line through the center is acquired to be the guidance path. Simulations and comparisons through Matlab show that the two algorithms are able to robustly recognize paths in their respective fit scenes and effectively process images in batches.

Key words Path guidance, Agricultural and forestry environment, Computer vision, Hough transform, Least square-fitting

引言

在农田、林地等复杂的自然场景中,图像分割往往因光照、阴影等噪声困扰而变得十分困难,无法得到较为满意、稳定的分割结果^[1~3]。Hough 变换是利用图像全局特性而将边缘像素连接起来组成区域封闭边界的一种方法,其主要优点是受噪声和曲线间断的影响小^[4]。利用 Hough 变换可以直接检测

某些已知形状的目标,如直线。在视觉导航上,Hough 变换有着广泛的应用^[5~11]。Hough 变换适用于作物行残缺的场景,如萌芽时期的发育不齐、害虫破坏或其他因素导致的作物行中植株缺失^[12]。

本文提出适用于几种特征农业环境的改进 Hough 变换算法,对其进行预定限制,使运算减少,实现批量处理。此外,针对国内外研究较少的林地环境,提出一种数学思路,并研究包括 Hough 变换

在内的两种路径导航线的生成方法。

1 预限定区域的 Hough 检测

1.1 限定区域的 Hough 峰值检测原理

二值图像可进行一种从直角坐标系 (x, y) 到极坐标系 (θ, ρ) 的映射变换。

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (1)$$

这一过程称为 Hough 变换。在直线检测前设定区域,以有效地控制检测范围,如图 1a 所示。3 条直线分别为 $y_1 = a_1 x_1 + b_1$ 、 $y_2 = a_2 x_2 + b_2$ 和 $y_3 = a_3 x_3 + b_3$,选取各条直线上的若干黑点 (x_i, y_i) 进行

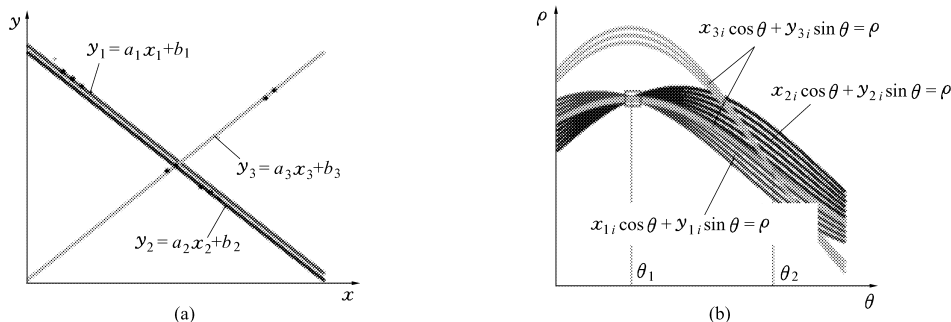


图 1 Hough 变换的映射原理示意图

Fig. 1 Mapping rationale of Hough transform

(a) 直角坐标系中直线上的点 (b) 映射变换后的曲线簇及其交点区域

1.2 农田场景应用的算法

对于移动机器人的视觉系统而言,在同一片较为规则的作业场景中进行路径实时跟踪的过程中,所生成的导航线的偏角往往变化较小,且大致在某一范围内摆动。因此在对图像的批量处理过程中,可限定 Hough 变换峰值检测所得的向量 $T(\theta)$,将其预先定义在 $[a, b]$ 范围内,即通过 T 变换后,与垂直方向所形成的夹角在一个较小的区域 $[\theta_a, \theta_b]$ 。通过对向量 T 中落入该预定角度范围值的寻址,来确定与之成对的向量 $R(\rho)$ 。这样不仅使原始检测出的峰值矩阵长度大大减小,也能有目的地进行此后的线段连接,从而缩减运算量,并降低图像分割缺陷所带来的检测紊乱。如图 2a 所示的一片水稻田中,取景远瞰时,视野内的水稻有序地形成很多垄行,按上述方法分割后,得到如图 2b 的二值图像。对其进行 Hough 变换峰值检测,则得到图 3a、3c 的

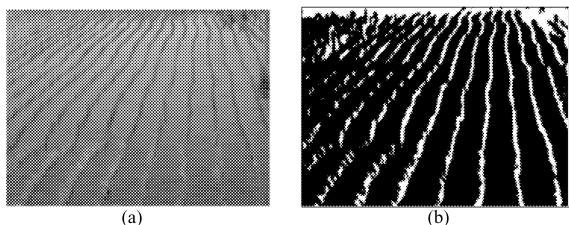


图 2 水稻田及其二值图

Fig. 2 Paddy field and its binary image

(a) 水稻田(浙江省富阳) (b) 以水稻为目标的图像分割结果

映射变换,形成图 1b 中的若干曲线簇: $x_{1i} \cos \theta + y_{1i} \sin \theta = \rho$ 、 $x_{2i} \cos \theta + y_{2i} \sin \theta = \rho$ 以及 $x_{3i} \cos \theta + y_{3i} \sin \theta = \rho$ 。这些曲线很好地体现了原直角坐标系各条直线的特征:斜率相近的直线 y_1 和 y_2 上提取的点在曲线集中的交点相邻,落入一个极小的、以 θ_1 为中心的区域;在直线 y_3 上、与直线 y_1 和 y_2 相交处附近的点在变换后也经过前两者曲线簇交点的区域内;而在直线 y_3 上的另外几点除了与其同线的点有交点 θ_2 外,没有和 y_1 、 y_2 的曲线簇发生干涉。可见,缩小峰值检测的搜索范围,便可减少运算量,迅速提取图像的关键信息,实现批量处理。

结果。可见,由于分割方法的不完善,难以使视野尽头的稻株与水洼地清晰地分离,在水平处形成一片连续区域,混淆了直线检测。而预先限定了向量 $T(\theta)$ 的范围 $[60, 120]$ 以后,对同一幅二值图像进行检测,得到的结果如图 3b、3d,此时只有最显著的 4 垄能形成直线。

利用这一简化向量 $T(\theta)$ 的 Hough 变换,可以对类似的农田场景进行批量处理。如图 4 的 10 幅桑苗试验田图片 (480×640) ,图片摄于杭州市华家池,8 月初下午 5 时,多云,CCD 俯角 35° ,苗高 400 mm 左右,平移拍摄高度约 1.2 m。由人眼观察统计可知导航角应在与垂直方向摆动 $[-10^\circ, 10^\circ]$ 范围,因此限定向量 $T(\theta)$ 的取值为 $[81, 101]$,即经过 T 函数变换后为 $[-10^\circ, 10^\circ]$ 。Matlab 试验显示该方法能取得较为理想的结果,符合人的感官判断。

2 林地环境的路径导航生成算法

2.1 林间环境的特点及其路径导航的两种方法

在林地环境中,树木空间排列与农作物相比较为随机,树木高度不同,层次复杂,直接使用直线检测的方法一般只能检测出较为笔直的树干,而并非导航的目标路径。如 5a 的景区杉树林,分离出树干后,Hough 变换检测结果如图 5b。考虑先遍历树干与地面的交点以形成机器人在当前视野内行走的左

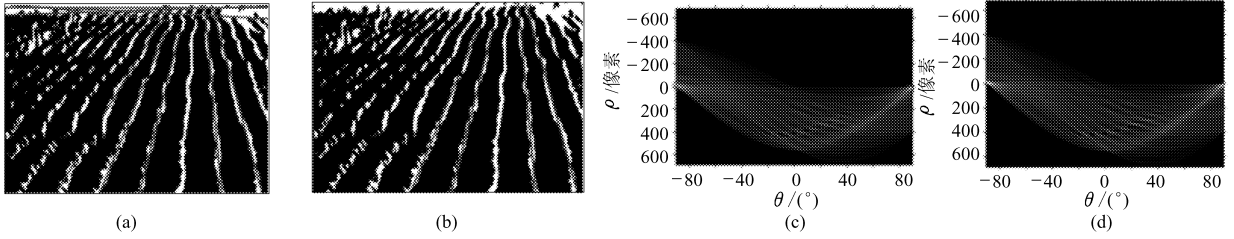


图3 水稻田图像的 Hough 变换

Fig. 3 Hough transform of the paddy field image

- (a) $[0, 180]$ Hough 变换生成的直线段
- (b) $[60, 120]$ Hough 变换生成的直线段
- (c) $[0, 180]$ Hough 变换的峰值区域
- (d) $[60, 120]$ Hough 变换的峰值区域

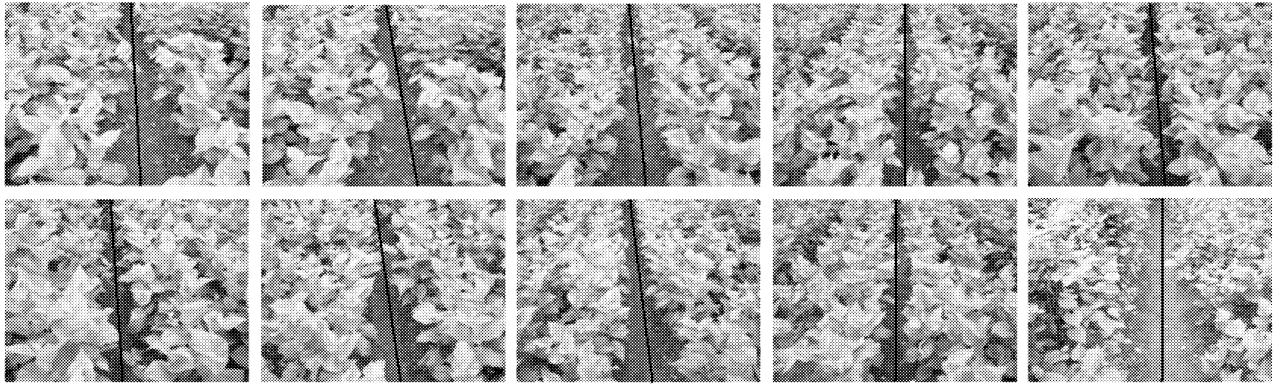


图4 桑苗地的路径导航线

Fig. 4 Path guidance lines in a mulberry seedling field

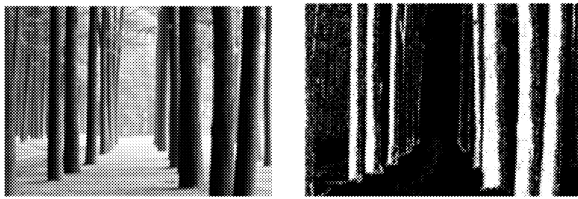


图5 杉树林及其树干与地面的交点

Fig. 5 Firry groves and points of trunk-and-earth intersection

- (a) 杉树林(浙江省桐庐)
- (b) 树干与地面交点簇

右安全边界,如图 6a;再求两边交点的中值,如图 6b。这列点簇在图像中显示为路径的中心,接下来可针对这列中值点进行 Hough 变换(图 6c),找出可能形成同一直线的点成员;也可直接使用最小二乘法拟合左右两条边界,求其中线,生成路径导航

线,如图 7。在林地这种特定复杂环境的导航线生成运算前,需要对树干与地面的交点出现的有效位置进行估计,在这里将自图像总行数 $2/3$ 至末行的关键信息带作为运算范围。

在此例中,两旁树干与地面的交点各自形成具有小幅弧度的曲线,使求出的中值点簇不能顺次连接成标准的直线段,因而在进行 $[0^\circ, 180^\circ]$ 全区域 Hough 直线检测时,按向量 $T(\theta)$ 由小到大排列出现了 5 个峰值,经点线映射反变换回到直角坐标中,与竖直方向夹角 θ 依次为 $16^\circ, 30^\circ, 33^\circ, 37^\circ, 45^\circ$ 。而使用最小二乘拟合两条边界再求中线的算法得到的中线与竖直方向夹角为 33.6372° ,与 Hough 变换中第 3 个峰值所反映的夹角相近。两种算法生成导航线偏角出现差异的原因有:①树林场景的生长不规则,当拍摄角度水平偏转较大时,视野内的行走边界

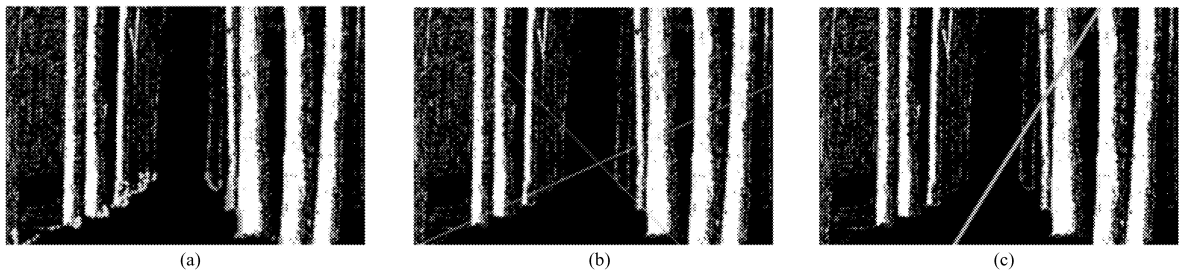


图6 林地导航线生成过程

Fig. 6 Method of guidance-line generation

- (a) 树干与地面的交点
- (b) 最小二乘拟合两边交点成直线
- (c) 两直线求中线作为路径导航线

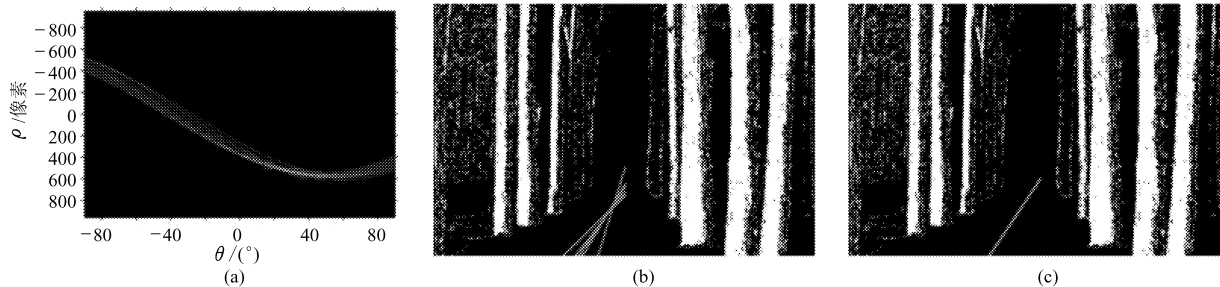


图7 对交点中值点进行 Hough 变换获得的林地导航线

Fig. 7 Path line generated by processing previous dot array using Hough transform

(a) [0, 180]Hough 变换的峰值区域 (b) 各峰值对应的线段 (c) θ 为 33° 的导航线

易形成曲线,不利于直线操作。②在最小二乘拟合算法中,存在空间与平面的感官差异,等轴测视图的几何中线夸大了人眼视觉所认定的偏角,使机器人行走角度的微小偏移被放大。

2.2 两种方法在类林地环境中的应用及分析

这种在林间生成导航路径的算法也可用于农田环境中较为高大的作物。对这些作物进行诸如施肥、灌溉、除草等操作时,机器人可能需要深入作物行的中低层行走。如图 8 中的多年生桑树,株体高约 800 mm, CCD 在丛间平移拍摄,高度约为 300 mm,俯角 10°。拍摄的图像效果类似于林地环境。对图像进行树干分离,如图 8a,取图像中心展开约 1/3 图幅的关键信息带,应用两种林间路径的

导航线生成算法求桑树行间导航路径,其中在 [0, 180] 全区域 Hough 峰值检测中,峰值个数设定为 1,如图 8b。结果分别如图 8c 和 8d 所示。由于视觉跟踪时 CCD 视野中心与场景中心一致,最小二乘拟合算法以及 Hough 变换峰值检测所得到的导航线最终偏角均较小,分别为 3.120 2° 和 2.092 1°。则可以对 Hough 变换预先设定向量 $T(\theta)$ 的范围,即经过 T 函数变换后为 $[-10^\circ, 10^\circ]$ 。对所摄的 5 个图样进行两种算法的批量处理,结果如图 9 所示。图中,(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 为限定区域的 Hough 变换单峰值检测结果;(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 为最小二乘拟合两边界求中线的检测结果。

各图导航角测定结果分别为: 8.172 6°、

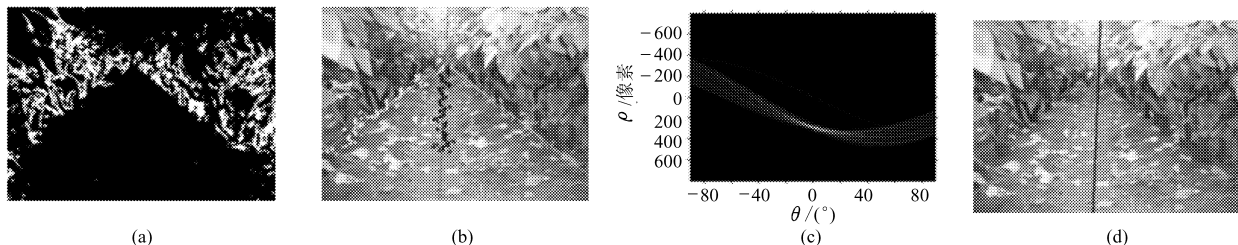


图8 多年生桑树地的路径导航线

Fig. 8 Guidance line of a perennial mulberry field

(a) 以枝干枝叶为目标的图像分割 (b) 类林地环境二乘拟合算法的导航线

(c) 对交点中值点进行 [81, 101]Hough 变换的单峰值区域 (d) 单峰值区域对应的线段

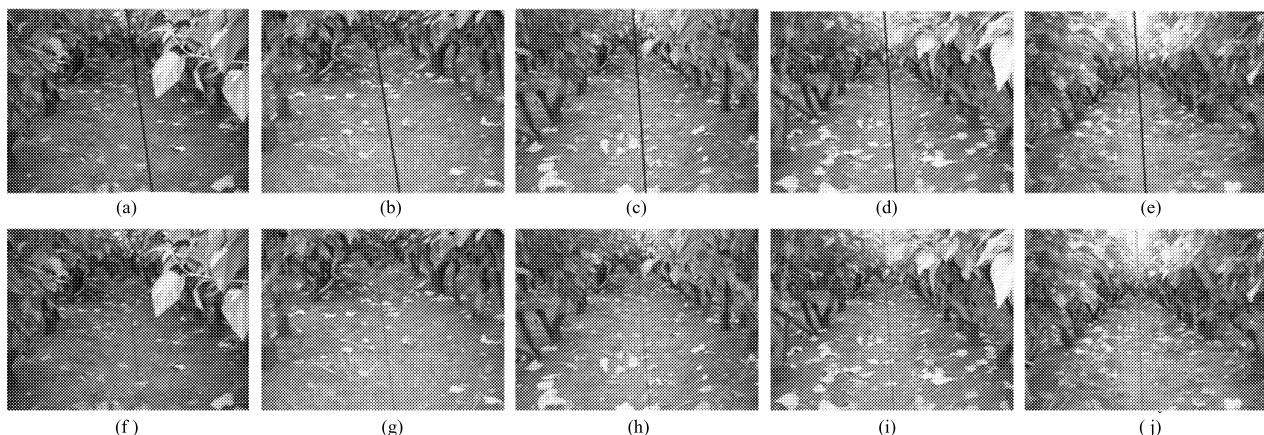


图9 多年生桑树地的路径导航线对比实验

Fig. 9 Comparison of guidance line methods of a perennial mulberry field

8.066 9°、4.056 7°、3.814 1°、3.652 2°、7.222 1°、6.074 6°、4.762 4°、3.524 7°、2.994 1°。

通过对比发现,在视觉系统左右摆动幅度不大、自然场景随机器人行走移动变化较小的规则化环境中,两种生成路径导航线的算法所获得的结果较为一致,以导航角为衡量指标,其差距不超过 2°,对于移动较为缓慢的农业自主行走机器人而言,两种算法的应用差别并不显著,均符合人类视觉判断,可有效地实现视觉路径导航。

3 结论

(1)描述了对 Hough 变换预先定义(θ, ρ)区域

及峰值检测的原理,提出一种新的 Hough 变换峰值检测直线,以生成路径导航线的思路。

(2)对规则种植矮小作物的农田场景应用该算法,批量图像的仿真处理取得了较为满意的结果。

(3)提出一种在林地环境及类林地环境的高大作物农田场景,寻找树干与地面的交点,形成机器人行走的左右边界,再求两边交点的中值产生一系列点簇的算法,并对该列点簇展开两种操作。对比仿真表明,两种算法对各自适应的场景具有可靠稳定的路径辨识能力,可进行图像批量处理。

(4)若干仿真应用表明,所提出的两种算法亦可有效解决图像分割中的难点问题。

参 考 文 献

- 张立彬,计时鸣,胥芳,等. 农业机器人的主要应用领域和关键技术[J]. 浙江工业大学学报,2002, 30(1):36~41.
Zhang Libin, Ji Shiming, Xu Fang, et al. Main application domains and key techniques of agricultural robots[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2002, 30(1): 36~41. (in Chinese)
- Franke U, Gavrilu D, Gorzig S, et al. Autonomous driving goes downtown[J]. IEEE Intelligent Systems, 1996, 13(6): 34~48.
- Goldbeck J, Huertgen B. Lane detection and tracking by video sensor[C]//Proc. of the IEEE/IEEJ/JSAL International Conference on Intelligent Transportation System, Tokyo, Japan, 1999: 74~79.
- 陈凯盖. 基于 Hough 变换的直线检测[J]. 西安航空技术高等专科学校学报,2007,25(3):34~36.
- 张卫,杜尚丰. Hough 变换在农田机械视觉导航中的应用[J]. 仪器仪表学报,2005,26(8):706~707.
Zhang Wei, Du Shangfeng. Hough transform applying in vision navigation of farming machine[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2005,26(8):706~707. (in Chinese)
- 孙元义,张绍磊,李伟. 棉田喷药农业机器人的导航路径识别[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(2):206~209.
Sun Yuanyi, Zhang Shaolei, Li Wei. Guidance lane detection for pesticide spraying robot in cotton fields[J]. Journal of Tsinghua University: Sci. & Tech., 2007, 47(2):206~209. (in Chinese)
- 赵颖,陈兵旗,王书茂,等. 基于视觉的耕作机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报,2006, 37(4):84~86.
Zhao Ying, Chen Bingqi, Wang Shumao, et al. Fast detection of furrows based on machine vision on autonomous mobile robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(4):84~86. (in Chinese)
- 张磊,陈兵旗,王书茂,等. 基于视觉的麦田边界检测[J]. 农业机械学报,2007, 38(2):111~114.
Zhang Lei, Chen Bingqi, Wang Shumao, et al. Edge detection for wheat field based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(2):111~114. (in Chinese)
- 侯学贵,陈勇,郭伟斌. 除草机器人田间机器视觉导航[J]. 农业机械学报,2008, 39(3):106~109.
Hou Xuegui, Chen Yong, Guo Weibin. Machine vision-based navigation for a weeding robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3):106~109. (in Chinese)
- Hough P V. A method and means for recognizing complex patterns: US, 3069654[P]. 1962-12-18.
- Mejdani S El, Egli R, Dubeau F. Old and new straight-line detectors: description and comparison[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(6):1 845~1 866.
- Astrand B. Vision based perception or mechatronic weed control[D]. Sweden: Chalmers and Halmstad Universities, 2005.