

基于改进 Hough 变换的农田作物行快速检测算法^{*}

赵瑞娇 李民赞 张漫 刘刚

(中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

【摘要】 选取苗期农田作为研究对象,采集了包含行栽作物和土壤背景的农田图像,针对现有作物行定位方法易受外界干扰和处理速度较慢的不足,提出将投影法和直接 Hough 变换法相结合检测作物行的算法。采用 $2G-R-B$ 法和 OTSU 法将图像二值化,通过快速中值滤波算法去除噪声,再利用垂直直方图投影将图像进行水平条划分获取作物垄平均定位点,最后通过 Hough 变换检测垄定位点,得到作物行中心线。试验结果表明:基于垂直直方图投影的 Hough 变换检测作物行中心线的算法在保证高定位精度的同时,算法处理速度比直接 Hough 变换检测法提高了 3 倍,得到的定位基准线能代表作物行走向。

关键词: 作物行检测 机器视觉 直方图投影 Hough 变换

中图分类号: S24; TP391.4

文献标识码: A

Rapid Crop-row Detection Based on Improved Hough Transformation

Zhao Ruijiao Li Minzan Zhang Man Liu Gang

(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

A rapid detection method of crop-row based on improved Hough transformation was suggested to detect the position of crop-rows after analyzing the characteristics of field crop planting. The true color images containing crop-row and soil background were captured as the research objects. Since the histogram projection is easily disturbed by external factors and the Hough transformation has a low speed, a combination of these two algorithms was developed. First, a true color image of field crops was processed with $2G-R-B$ gray and OTSU to separate plants from soil. Second, the noise was eliminated by fast median filtering algorithm, and then the image was divided into ten horizontal strips to get the anchor points according to the geometric distribution of the crop-rows. Finally, the centerline of crop rows was obtained by Hough transformation using those points. Test results show that the processing speed of the improved Hough transformation method is four times faster than that of original Hough transformation with the similar positioning accuracy, and the centerline detected can highly match the crop-row.

Key words Crop-row detection, Machine vision, Histogram projection, Hough transformation

引言

基于视觉导航的农田作业机械,在自动喷洒农药和肥料、收割作业、中耕除草、插秧等许多方面有着广泛应用前景^[1],但需要解决的关键技术之一是

要准确分割作物和背景,检测出作物行,确定作物行的位置,同时要提高图像处理速度以满足农田作业的实时性要求。目前用于作物行定位的主要方法有投影法和 Hough 变换法等。投影法人为因素较多,且受缺株或干扰的影响较大^[2]。Hough 变换方法鲁

收稿日期: 2008-08-18 修回日期: 2008-12-16

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10A304、2008AA10Z225)

作者简介: 赵瑞娇,博士生,主要从事精细农业相关研究, E-mail: zhao_ruijiao@163.com

通讯作者: 李民赞,教授,博士生导师,主要从事精细农业相关研究, E-mail: limz@cau.edu.cn

棒性强,受噪声和不完整性影响小,但算法复杂,运算量较大^[3]。为准确、快速对作物行进行定位,本文将投影法和 Hough 变换法结合,提出一种基于改进 Hough 变换的快速提取作物行中心线的方法,并比较改进算法与直接 Hough 变换方法的检测效果。

1 材料与方法

本研究的目的是针对现有作物行定位方法存在的易受外界干扰和处理速度较慢的不足,开发一种准确、快速且鲁棒性好的农田作物行检测方法,为基于机器视觉的农业机械田间导航提供准确位置信息。因此利用图像采集系统采集农业机械作业时的农田图像,先从静态图像入手,设计算法并检验其性能。

图像采集系统采用陕西维视数字图像技术有限公司生产的 USB 接口 MV-U2000 型图像采集卡,输出为 RGB 彩色图像。用于图像处理的计算机为台湾威达电公司生产的 PPC-3710 型车载田间计算机,主频为 2.1 GHz,内存为 1 GB。软件开发工具为 Microsoft Visual C++ 6.0。在晴天阳光直射条件下,利用上述采集系统采集了一幅芹菜早期生长图像(320×240)作为算法的研究对象。

2 算法设计

2.1 算法改进

根据投影法和 Hough 变换方法的特点,先采用投影法得到作物垄方向离散的定位点,再对离散点实施 Hough 变换,最终获得作物行中心线,这样既利用投影法提高计算速度,又利用 Hough 变换方法提高定位精度和鲁棒性。图 1 为改进算法设计框图。

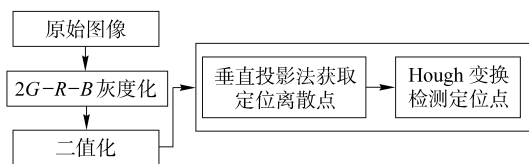


图 1 快速检测作物行中心线的算法框图

Fig. 1 Diagram of the rapid detecting algorithm

2.2 图像分割

晴天条件下采集芹菜早期生长图像作为原始图像,如图 2a 所示,大小为 320×240。分析图像,作物行具有较高的 G 值,而背景(如土壤)R 和 B 值则较高,因此为了增大目标作物和土壤背景的分异性,采用加大 G 值减小 R 和 B 值的 2G-R-B 方法进行灰度化得到灰度图像^[4],如图 2b 所示。灰度图像用快速中值滤波进行噪声消除^[5]。

图像分割采用了最大方差的 OTSU 法将图像

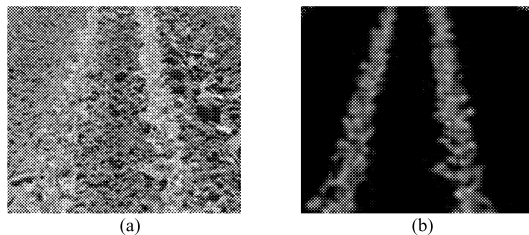


图 2 原始图像及灰度化图像

Fig. 2 Original and grayed image

(a) 原始图像 (b) 2G-R-B 灰度化

二值化,如图 3a 所示^[6~7]。基本思想是以最佳门限将图像灰度直方图分割成两部分,使其类间方差取得最大值,即分离性最大。一方面满足了分割作物行和背景的最佳阈值的需要,另一方面满足了机器视觉连续获取图像时,在不同时间和地点选择不同阈值的需要。二值化图像又选用 5×1 结构元素进行膨胀处理,缩小或消除作物行和背景中的孔洞^[8],结果如图 3b 所示。

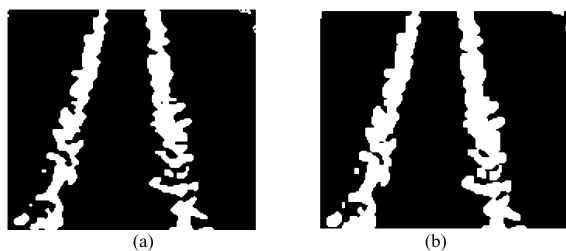


图 3 二值化图像及膨胀处理后图像

Fig. 3 Binary image and result of expansion algorithm

(a) 二值化 (b) 膨胀处理

2.3 基于投影法的行定位点获取

根据投影法的原理,利用图像分割得到的作物信息,再根据作物的生长走势进行特征提取,利用统计分析方法可以得到能够表现作物垄方向特征的定位离散点^[9~10]。在图 3b 的基础上,提取左边作物行作为单垄作物试验对象,对其进行垂直直方图投影和行定位点的提取。获取定位点的流程为:在图像垂直方向按 10 等分为水平条状图像,各图像条进行垂直直方图投影(图 4a),取阈值 T 对每条图像的垂直直方图投影进行分割,计算图像条中每个上升点和下降点列位置的平均值,得到各水平条的平均定位点(图 4b)。

2.4 基于 Hough 变换的作物行识别

行定位点是几个趋近于某条直线的点,利用 Hough 变换的统计特性可以得到这条直线的参数,从而得到作物的行中心线。利用极坐标直线方程映射到参数平面中,将 n 个行定位点转换为极坐标系中 n 条曲线,利用这 n 条曲线在一定范围内的交点确定出 n 个点的最佳拟合直线。具体算法为:

(1) 初始化一个变换域(ρ, θ)空间,定义一个累

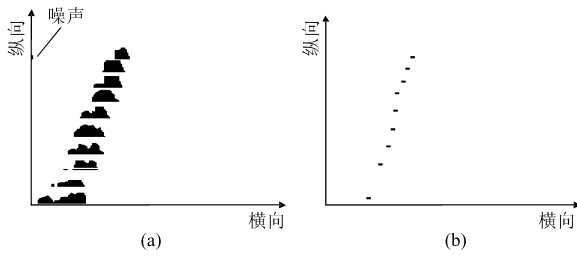


图 4 单垄作物垂直直方图投影及行定位点
Fig. 4 Vertical direction histogram projection and anchor points of single crop-row
(a) 垂直直方图投影 (b) 平均定位点

加矩阵 $A_{\rho \times \theta}$, ρ 量化为图像对角线方向像素数, 增量为 1, θ 量化数目为 180° , 增量为 2° , 初始化累加矩阵 $A_{\rho \times \theta}$ 中所有元素为零。

(2) 初始化一个直线空间, 定义一个直线结构, 包括 2 个点并且分配空间, 使每个参数 (ρ, θ) 对应一条两点结构的直线。

(3) 扫描二值图像获得的垄平均定位点 (x_i, y_i) , 对每一点代入 θ 的量化值 (从 0° 到 180°), 通过 $\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$ 得到对应的 ρ , ρ 值落在累加矩阵 $A_{\rho \times \theta}$ 中的某小格, 将该元素加 1, 同时修改相对应的两点直线结构中的上、下坐标值。

(4) 扫描完所有垄定位点, 检查累加矩阵 $A_{\rho \times \theta}$, 找到最大的元素值对应的 (ρ, θ) , 记作 (ρ_0, θ_0) , 则 (ρ_0, θ_0) 为原图像中最大概率直线对应的参数。 (ρ_0, θ_0) 对应的两点结构直线为原图像中提取的最大概率直线, 从而得到其斜率 k 和截距 b 。

3 试验

3.1 结果

以图 2 芹菜生长原始图像的左垄为试验对象, 分别利用提出的基于垂直直方图投影的改进 Hough 变换法和直接 Hough 变换法检测作物行中心线。改进算法的检测结果如图 5a 所示, 中心线的斜率为 10.27, 平均处理 1 帧图像耗时 0.083 4 s; 直接 Hough 变换检测结果如图 5b 所示, 斜率为 10.13, 平均处理 1 帧图像耗时 0.336 2 s。可见, 基于垂直

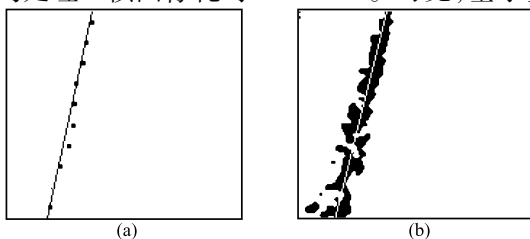


图 5 检测所得直线
Fig. 5 Centerline detected by improved method and original method
(a) 改进 Hough 变换 (b) 直接 Hough 变换

直方图投影的改进 Hough 变换检测作物行中心线的算法在保证高定位精度的同时, 算法处理速度比直接 Hough 变换检测法提高了 3 倍, 得到的定位基准线能代表作物行走向。

3.2 分析

利用改进 Hough 变换拟合了一行作物中心线, 如果存在多行作物, 则需要先根据作物行距先规划出每行作物存在的区域范围, 这样用改进 Hough 变化拟合作物中心线时就可在规划后的区域中寻找相应累加器的最大值, 从而实现多行的拟合。

图 2 选择灰度作为区别有机体农作物与无机物背景的特征向量, 农作物与土壤背景在绿色通道 G 上有很大区别, 通过加大 G 值的 $2G-R-B$ 方法较好分离了作物行和土壤背景, 同时分析其直方图发现有两个较明显峰值, 可用来进行二值图像分割。

从图 3 可以看出, 二值化图像不经过膨胀处理也可以进行垂直直方图投影提取垄定位点, 由于作物图像由许多个体植株组成, 内部结构复杂, 作物行有一定宽度, 内外部会有一些数量的孔洞, 利用垂直膨胀处理可以在保留图像内容的同时减少和填补这些孔洞, 有利于提高垄平均定位点获取的准确性。

在图 4 利用垂直直方图投影获取垄平均定位点时有一个水平条没有提取出定位点, 这是由于田间图像不可避免存在缺苗或噪声, 利用缺苗或噪声区域来确定定位点可能出现严重偏差, 因此在提取定位离散点时设定了分割值 T 来消除不可靠信息, 低于阈值 T 的水平条直方图将不参与垄平均定位点的获取。

本文对一幅静态田间作物图像样本快速检测其作物中心线进行了初步探索, 图像采集环境选择较为理想的晴天阳光直射, 对于多垄作物图像的快速检测以及复杂农田环境的动态图像实时行检测需要进行进一步研究。

4 结束语

根据农田作物行图像信息特点, 提出了一种基于垂直直方图投影的改进 Hough 变换检测作物行中心线的方法, 结合作物图像在 RGB 彩色空间的特点, 有效地将作物行从土壤背景中分割出来, 利用水平条垂直直方图投影获取行平均定位点, 再利用 Hough 变换检测行定位点识别作物行中心线。试验结果表明, 利用改进算法检测作物行中心线在保证高定位精度的同时, 算法处理速度比直接 Hough 变换检测法提高了 3 倍, 得到的定位基准线能代表作物行走向。

参 考 文 献

- 1 Zhou J, Pang G, Wang H, et al. Research on pulse electrochemical finishing using a moving cathode[J]. International Journal Manufacturing Technology and Management, 2005, 23(4): 352~365.
- 2 Tsuneeo K, Mitsuro H. A study of EDM and ECM/ECM-lapping complex machining technology[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2006, 46(14): 1 804~1 810.
- 3 Rajurkar K P, Wei B, Kozak J, et al. Modelling and monitoring interelectrode gap in pulse electrochemical machining[J]. Annals of CIRP, 1995, 44(1): 177~180.
- 4 Rosset E, Datta M, Landolt D. Pulse polishing of die steels in neutral solutions[J]. Plating and Surface Finishing, 1985, 72(7): 60~64.
- 5 Klocke F, Sparer M. Electrochemical finishing-the fast way to finished dies and molds[J]. International Journal of Manufacturing Science, 1998, 1(4): 247~256.
- 6 Sun J J, Taylor E J, Srinivasan R. MREF-ECM process for hard passive materials surface finishing[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 108(3): 356~368.
- 7 周锦进,翟小兵,庞桂兵,等. 脉冲电化学光整加工表面微观形貌的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(3): 150~153. Zhou Jinjin, Zhai Xiaobing, Pang Guibing, et al. Microscopic shape of surface generation in pulse electrochemical finishing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(3): 150~153. (in Chinese)
- 8 周锦进,庞桂兵,徐文骥,等. 脉冲电化学齿轮齿面光整加工实验研究[J]. 中国机械工程, 2004, 15(24): 2 187~2 190. Zhou Jinjin, Pang Guibing, Xu Wenji, et al. Experimental study on pulse electrochemical finishing of gear teeth surface[J]. China Mechanical Engineering, 2004, 15(24): 2 187~2 190. (in Chinese)
- 9 GB/T 3505—2000 产品几何技术规范表面结构轮廓法表面结构的术语、定义及参数[S]. GB/T 3505—2000 Geometrical product specifications (GPS)-surface texture: profile method-terms, definitions and surface texture parameters[S]. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 165 页)

## 参 考 文 献

- 1 Mattingly J D, Heiser W H, Pratt D T. Aircraft engine design (second edition)[M]. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2002.
- 2 袁佐云,毛志怀,魏青. 基于计算机视觉的作物行定位技术[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(3): 69~72. Yuan Zuoyun, Mao Zhihui, Wei Qing. Orientation technique of crop rows based on computer vision[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(3): 69~72. (in Chinese)
- 3 Marchant J A, Brivot R. Real-time tracking of plant rows using a Hough transform[J]. Real-time Imaging, 1995, 1(5): 363~371.
- 4 Woebbecke D M, Meyer G E, Von Bargen, et al. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 259~269.
- 5 李婧,黄进. 一种图像测量中的快速中值滤波算法[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 299~300, 310. Li Jing, Huang Jin. A fast median filter algorithm in image measuring system[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(7): 299~300, 310. (in Chinese)
- 6 Aubtale A S. Automatic thresholding of gray level picture using two-dimensional entropy[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989, 47(1): 22~23.
- 7 姜国权,柯杏,杜尚丰,等. 基于机器视觉和随机方法的作物行提取算法[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 85~88, 93. Jiang Guoquan, Ke Xing, Du Shangfeng, et al. Detection algorithm of crop rows based on machine vision and randomized method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 85~88, 93. (in Chinese)
- 8 Lamm R D, Slaughter D C, Giles D K. Precision weed control system for cotton[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(1): 231~238.
- 9 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: Science and Technology, 2007, 47(2): 206~209. (in Chinese)
- 10 张红霞,张铁中,陈兵旗. 基于模式识别的农田目标定位线检测[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 107~111. Zhang Hongxia, Zhang Tiezhong, Chen Bingqi. Detection algorithm for orientation lines based on pattern recognition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 107~111. (in Chinese)