

基于 Hough 变换和 Fisher 准则的垄线识别算法

张志斌 罗锡文 周学成 臧英

(华南农业大学南方农业机械装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要 为了提高农业机械自主作业视觉导航的精度, 基于田间作物垄行的特点, 首先选择作物的绿色为特征提取垄行结构; 然后针对 Hough 变换原理提取垄线存在的问题, 根据垄线点空间关系, 运用 Fisher 准则函数进行反压缩处理, 并将 Fisher 准则函数值作为垄线样本点疏密程度和方向势大小的度量, 优化了 Hough 变换识别多垄线的条件, 得出了多垄识别统一模型。试验结果表明, 作物垄线定位的准确性、适应性均得到提高, 而且能够避免较大面积杂草等影响, 从而克服了传统 Hough 变换提取多垄线的不足, 对农田机器视觉导航应用具有一定参考价值。

关键词 Hough 变换 Fisher 准则 垄行识别 视觉导航

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)12-2164-05

Crop Rows Detection Based on Hough Transform and Fisher Discriminant Criterion Function

ZHANG Zhi-bin, LUO Xi-wen, ZHOU Xue-cheng, ZANG Ying

(Key Laboratory of key Technology on Agricultural Machine and Equipment (South China Agricultural University), Ministry of Education, P. R. China, Guangzhou 510642)

Abstract In this paper green components are used to separate the crop rows from its soil background images. To determine the detection peaks and verify lines in Hough transform, a powerful tool for lines extraction from images in noisy or degraded environment, the conventional Fisher discriminant criterion function is modified to project the sample points in an accumulator into a variable. This is regarded as an efficient measurement for the density and orientation of the points distributing collinearly. An optimal mathematical model for identifying multi-rows is presented. Experimental results show that the algorithm can efficiently eliminate the effect of the weeds, and its accuracy and robustness are improved compared with the conventional Hough transform. And it is useful for the row-recognition system.

Keywords Hough transform, Fisher theory, crop rows recognition, machine vision navigation

1 引言

由于农田环境的复杂性, 需要农业机械视觉导航系统在识别田间垄行结构时具有更高的鲁棒性, 并要求在设定的时间内能输出正确的识别结果^[1,2]。长期以来, 提高农田视觉导航算法的鲁棒性、准确性和适应性一直是该领域的研究重点。目前较常用的垄线识别方法, 诸如基于像素的灰度统计法^[3], 它是通过垄行灰度信息的累积来确定垄线位置, 但其对杂草等影响较敏感, 定位性较差, 算法

还需完善; 而采用 Hough 变换原理确定垄线^[4,5]时, 则由于 Hough 变换本身在背景复杂情况下存在累加器峰值确定难、重复线段多等问题, 因而实际研究中往往要先通过设置窗口来选定某一垄行的灰度分布, 然后在该窗口内采用 Hough 变换、回归或计算它的矩^[6]等手段来提取垄线。对于多垄的识别问题, pla 等人提出了一种基于垄线消失点控制的算法^[7], 有效克服了采用 Hough 变换提取垄线的缺陷。其虽能够处理断垄的情况, 但该算法对计算的要求较严格^[8]。Leemans 等人 and Gee 等人进一步发展了基于先验知识和 Hough 变换的消失点实时检

基金项目: 国家自然科学基金项目(60574029)

收稿日期: 2007-05-08; 改回日期: 2007-07-23

第一作者简介: 张志斌(1974 ~), 男, 2005 年于华南农业大学工程学院获硕士学位。现为华南农业大学工程学院电器与自动化专业博士研究生。主要研究方向包括图像处理、机器视觉和模式识别。E-mail: Pearl740@tom.com

测多垄线方法^[8,9]。本文提出了一种先运用 Hough 变换提取垄线点列,然后采用 Fisher 准则函数对垄线点列空间关系进行压缩映射处理的多垄线识别优化算法。该算法不仅克服了单纯用 Hough 变换识别垄线带来的困难,而且系统的准确性、鲁棒性和适应性都得到提高。

2 田间垄行图像的分割

随着计算机运算速度的提高,农田视觉导航系

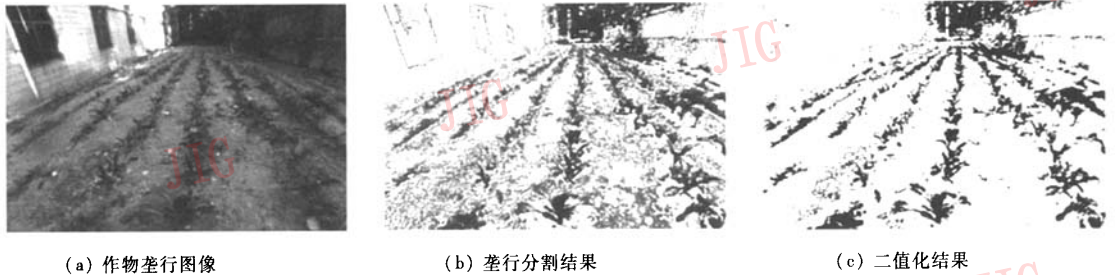


图 1 农田作物图像及其垄行分割和二值化处理结果

Fig. 1 Original image with its segmentation image and binary image

3 Hough 变换提取垄线

Hough 变换自 1962 年 Pau Hough 提出以来,其在直线段检测方面的应用已有了许多重要的研究成果,因其受环境、光照等因素影响较小^[7],被认为是直线段检测鲁棒性较好的方法。其原理如下:由 Hough 变换方程

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

知,在极坐标下的某点 (r_0, θ_0) 对应图像空间中一列共线的点,反过来,在图像空间中某点 (x_0, y_0) 对应 Hough 空间一族共点曲线,点和线形成对偶关系。利用这种点线对偶性,通常将图像空间中的每一点 (x_i, y_i) 映射到 Hough 空间一组累加器 $A(r_i, \theta_i)$ 中,其满足式(1)的每一点,将使对应的所有累加器中的值加 1,这样即可通过检查累加器的局部最大值来识别与 (r, θ) 对应的垄线。但在实际运用中由于受垄点空间关系的分布不均匀、杂草和光照等噪声影响,致使用 Hough 变换提取垄线段很难取得预期效果,其主要问题是局部最大值较多和重复线段多等^[8-11]。由于直接用 Hough 变换提取垄线不能达到预期效果,需要对提取器峰值进行甄别处理和线

统提取作物颜色信息越来越受到研究者的重视。因大多数作物生长期间叶茎均为绿色,所以本研究采用图像的绿色成分作为特征,通过 $(G > R \& \& G > B)$ 特征化处理,首先得到垄行颜色信息;然后将非绿色的背景成分灰度值归一化为 1,目标点集灰度值归一化为 0,得到二值化的图像。图 1(a)为一幅田间采集的图像,图 1(b)为绿色特征化处理结果,图 1(c)为二值化处理结果,从图中可以看出,处理后的图像保持了作物的垄行信息。

段优化选择,为此,本文结合垄田的先验知识,考虑 Hough 变换累加器中垄线点列的空间关系,运用 Fisher 准则函数对累加器的点进行空间压缩处理,以解决上述存在的问题。

4 Fisher 变换优化垄线

4.1 Fisher 准则压缩原理

已知模式特征 X 为 n 维矢量,设模式类别数为 c ,总体样本数为 N ,各类样本数为 $N_i (i = 1, 2, \dots, c)$, $N_1 + N_2 + \dots + N_c = N$,样本均值向量为 $m_i (i = 1, 2, \dots, c)$,总体样本均值向量为 m ,类内离散度矩阵 S_b ,类内离散度矩阵 S_w ^[12]分别为

$$S_b = \sum_{i=1}^c \frac{N_i}{N} (m_i - m)(m_i - m)^T \quad (2)$$

$$S_w = \sum_{i=1}^c P(\omega_i) \frac{1}{N_i} \sum_{x \in \mathcal{X}_i} (x - m_i)(x - m_i)^T$$

式中, $P(\omega_i)$ 为类 ω_i 的先验概率, \mathcal{X}_i 为类 ω_i 的子集, $x \in X$ 。当样本为两类时,Fisher 定义^[13]如下:

$$J(w) = \frac{(m_1 - m_2)^2}{S_1^2 + S_2^2} \quad (3)$$

其中, w 为其解向量,即使分子尽可能大,分母尽可

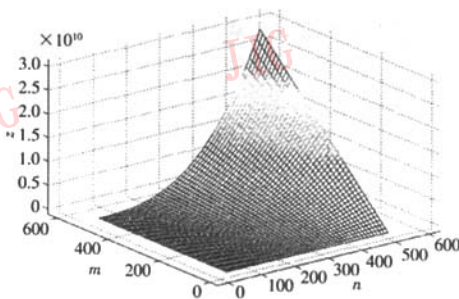
能小时, $J(\mathbf{w})$ 取得最大值的投影方向 \mathbf{w} 为样本分类最佳投影方向。假设 $m_2 \rightarrow 0$, 则式(3)演变为

$$J(\mathbf{w}) = \frac{m_1^2}{S_1^2} \quad (4)$$

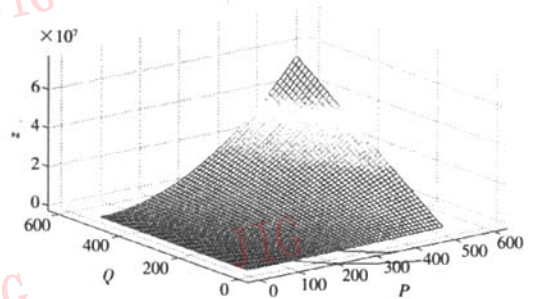
其中, S_1 演变为均方差, 显然, 当 $J(\mathbf{w})$ 越大时, 投影方向 \mathbf{w} 就是使样本点向其均值向量 m_1 收缩的方向; 当 $J(\mathbf{w})$ 越小时, 方向 \mathbf{w} 是使样本点尽可能远离 m_1 的方向。当样本线性可分且分布数量大时, Fisher 准则是寻找最佳分类投影方向 \mathbf{w} 的有效工具。反过来, 假设投影方向 \mathbf{w} 已知, 则在样本数相同的情况下, $J(\mathbf{w})$ 值的大小是该投影方向 \mathbf{w} 上样本点疏密程度的度量; 同时, 由于点数越多, $J(\mathbf{w})$ 呈增大趋势(和点集论“势”的含义一致, 点数越多, 势越大), 因此, 可以认为 $J(\mathbf{w})$ 为样本点在投影方向 \mathbf{w} 上分布的疏密程度和方向势大小的度量, 由此就可通过准则函数把空间点列关系压缩映射到一个准则函数 $J(\mathbf{w}_0)$ 上 (\mathbf{w}_0 为确定的投影方向)。一般垄行点的分布比较均匀, 但如果出现几个距离中心较远点, 则称为“野点”, 由于其存在对 Hough 变换提取结果影响较大, 因此, 可通过垄宽先验知识设置阈值去掉含野点的线段。当 $S_1 \rightarrow 0$ 时, $J(\mathbf{w}_0) \rightarrow \infty$, 所以, 为便于计算, 可取其倒数为准则函数(如式(5)所示), 即

$$\hat{J}(\mathbf{w}_0) = \frac{S_1^2}{m_1} \quad (5)$$

4.2 准则式(5)的仿真 仿真步骤如下:



(a) 式 $\hat{J}(\mathbf{w}_0, m, n)$ 的仿真结果



(b) 式 $\hat{J}(\mathbf{w}_0, Q, p, q)$ 的仿真结果

图 2 两种不同函数的仿真结果

Fig. 2 Simulation results of the two functions

(3) 验证样本点总数相同时, 有野点比没野点时样本点相对“疏”, $\hat{J}(\mathbf{w}_0)$ 值较大。在上述步骤(1)中, 从样本疏点的取值可见, 若把“野点”视作“疏点”,

(1) 验证样本疏点和密点数量相对变化时, 对准则函数值的影响。

定义 同一线段上分布的样本点间顺次距离为 1 时, 称为单位距离, 其点称为密点; 顺次距离大于 1, 但小于垄间距离时, 称为疏点距离, 其点为疏点; 顺次距离大于垄间距离时, 称为野点距离, 其点为野点。设 m 为样本总数, n 为疏点样本数, 则 $m - n$ 为密点样本数, 且疏点和密点在同一直线上的分布位置不影响结果。为不失一般性, 取疏点距离为 2, 3, ..., $n + 1$, $z = \hat{J}(\mathbf{w}_0)$, 根据式(5)不难得出函数 $\hat{J}(\mathbf{w}_0, m, n)$ 的表达式, 其在 Matlab7.0 上的仿真结果如图 2(a) 所示, 其定义域取 $[0, 500]$ 。由于 $n \leq m$, 所以对角线右边是其取值范围, 可见在样本总点数 m 不变时, 若疏点数 n 越多, 其 $\hat{J}(\mathbf{w}_0)$ 值越大, 则整个线点列分布越疏; 反之, 若 $\hat{J}(\mathbf{w}_0)$ 越小, 则线点分布越密; 同时, 若样本总数 m 越大, $\hat{J}(\mathbf{w}_0)$ 值越大, 则方向势越大。

(2) 验证样本总数 Q 一定时, 样本间的距离变化对准则函数值的影响。设 p 为垄点正常距离点数, q 为野点数, d 为野点距离, $z = \hat{J}(\mathbf{w}_0, Q, p, q)$ 。为不失一般性, 正常点的距离取值为 1, 2, 3, ..., p , 同样由式(5)不难得出函数 $\hat{J}(\mathbf{w}_0, Q, p, q)$ 表达式, 只要验证有野点距离 d 存在时, 函数 $\hat{J}(\mathbf{w}_0, Q, p, q)$ 是单减的, 其中 $q = Q - p$ 取不同值, 其定义域取 $[0, 500]$ 时, 对该式进行了仿真。图 2(b) 为 $d = 520$ (大于 500) 时的仿真结果, 其中函数 $\hat{J}(\mathbf{w}_0, Q, p, q)$ 呈单调递减。

则 $\hat{J}(\mathbf{w}_0)$ 值越大, 点越疏。这样在样本点数相同的情况下, 选择最小值 $\hat{J}(\mathbf{w}_0)$ 就可排除野点的影响(也可通过垄间先验知识控制野点距离来去掉)。

综上所述,在程序上先依次从大到小选择 Hough 变换累加器中的样本数 C ,然后在每个样本数 C 上(排除野点的情况下)寻找其 $\hat{J}(w_0)$ 的最小值,便可去掉重复的线段(结合线段位置);从大到小遍历 C ,以保证选择线段的方向势最大,即含样本数最多的线段,这样克服了 Hough 变换累加器阈值确定困难问题,且跨垄线段也得到了控制。算法流程如图 3 所示。

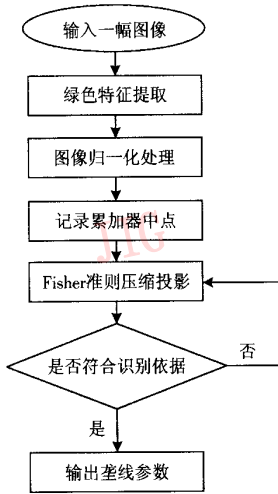
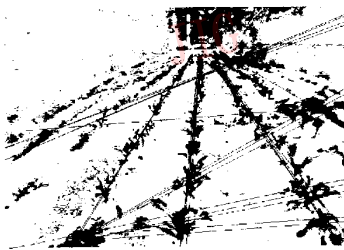


图 3 算法流程图
Fig. 3 Flowchart of the algorithm

5 试验结果和及其分析

图 4(a)和图 4(b)是分别采用 Hough 变换和本



(a) Hough 变换直接提取结果



(b) 本文算法提取结果

图 4 两种不同算法垄线提取结果

Fig. 4 Extraction row lines images using the two methods

文算法对图 1(c)进行处理的结果。处理器为 Intel (R) Pentium (R) 4CPU2.0GHz, VC6.0 软件环境,算法的处理时间分别为 15s 和 25s。

在图 1(a)中,背景较复杂,垄行的噪声影响比较大。试验中,控制程序从图上端第 50 个像素行开始扫描,以滤去原图中窗户背景的影响,Hough 变换累加器间隔为 1° ,垄行间隔为 50pixels。如图 4(a)所示,选择了 20 个累加器峰值的结果,显然,重复线段多、准确性差。由于点列的空间关系复杂(分布不均匀),致使传统 Hough 变换累加器峰值确定只是统计每个累加器中的点数,而忽略了特定垄线点列间的关系属性,结果是“一垄”对“多线”,且杂草等噪声影响较大,甚至产生跨垄线段(如图 7 出现跨垄线段)。本文记录的每个 Hough 变换累加器中的线段中点横坐标和倾角(农业机械装备在田间行走时,由于车体纵向中心线与垄行夹角 $\alpha \in (-90^\circ, +90^\circ)$,因此线段倾角和横向坐标是线段的标识可作为目标判断的依据,并首先通过 Fisher 准则函数把该方向上垄线空间点列关系压缩映射到 1 维判别函数值中,这样每个累加器就对应一个线段特征变量组 $(J(w_0), x_c, \alpha)$,设定 x_c 和 α 的误差范围,通过程序搜索就基本形成“多线”对“一垄”;然后选择 $\hat{J}(w_0)$ 最小值便可得到准确值。处理结果如图 4(b)所示, x_c 和 α 的误差范围分别为 $x_c \pm 5\text{pixels}$, $\alpha \pm 1^\circ$,野点距离为 20pixels。可见,本文算法提取结果不仅避免了较大面积的杂草噪声,且算法准确率较高,同时验证了其识别农田垄线适应复杂环境的能力。

6 结论

本文基于大多数农田植物生长期间茎叶均为绿色的特点,通过绿色特征提取垄行结构,并针对传统

Hough 变换在较复杂环境下识别垄线存在的不足,重新构建了 Fisher 判别准则函数形式,先把特定垄线上点列的空间关系压缩映射到 1 维准则函数中,并结合垄行的先验知识(垄间距离),使每个 Hough 变换累加器对应一个线段特征变量 $(J(w_0), x_c, \alpha)$,

将传统的“一垄”对“多线”变为“多线”对“一垄”；然后优化选择可得到较理想结果。该算法不仅克服了传统 Hough 变换识别垄线时存在的困难,而且准确性、鲁棒性和适应性均得到提高。该算法不足之处为时间和空间开销较大,但随着嵌入式 DSP 处理技术、并行处理技术和优化处理技术等视觉导航技术中的应用,处理速度将会有大幅度提高,因此对农田视觉导航实际应用会有一定参考价值。

参考文献 (References)

- Mäenpää T, Turtinen M, Pietikäinen M. Real-time surface inspection by texture[J]. *System Real-Time Imaging*, 2003, **9**(5): 289 ~ 296.
- Zhou Qing-rui, Yuan Kui, Liu Jun-cheng. Research on control strategy of mobile robot navigation based on vision[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2005, **41**(15): 5 ~ 8. [周庆瑞, 原魁, 刘俊承. 移动机器人视觉导航控制研究[J]. *计算机工程与应用*, 2005, **41**(15): 5 ~ 8.]
- SØggaard H T, Olsen H J. Determination of crop rows by image analysis without segmentation[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2003, **38**(2): 141 ~ 158.
- Sanchiz J M, Marchant J A, Pla F, *et al.* Real-time visual sensing for task planning in a field navigation vehicle[J]. *System Real-Time Imaging*, 1998, **4**(1): 55 ~ 65.
- Astrand Bjorn, Baerveldt Albert-Jan. A vision based row-following system for agricultural field machinery[J]. *Mechatronics*, 2005, **15**(2): 251 ~ 269.
- Han S, Zhang Q, Ni B, *et al.* A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2004, **43**(3): 179 ~ 195.
- Pla F, Sanchiz J M, Marchant J A, *et al.* Building perspective models to guide a row crop navigation vehicle[J]. *Image and Vision Computing*, 1997, **15**(6): 465 ~ 470.
- Leemans V, Destain M F. Line cluster detection using a variant of the Hough transform for culture row localisation[J]. *Image and Vision Computing*, 2006, **24**(5): 541 ~ 550.
- Gee Ch, Bossu J, Jones G, *et al.* Crop/weed discrimination in perspective agronomic image[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007, **58**(1): 1 ~ 92.
- Song Ji-qiang, Lyu Michael R. A Hough transform based line recognition method utilizing both parameter space and imagespace[J]. *Pattern Recognition*, 2005, **38**(4): 539 ~ 552.
- Li Wei, Huang Xin-han, Wang Min. A new fast Hough transform and its application in edge detection[J]. *Signal Processing*, 1999, **15**(2): 183 ~ 187. [李炜, 黄心汉, 王敏. 一种快速 Hough 变换改进算法及其图像边缘检测中的应用[J]. *信号处理*, 1999, **15**(2): 183 ~ 187.]
- Chen Gao-hua, Zuo Dong-feng, Xia Xi-rui, *et al.* Peak value extraction based on Hough transformational line detection[J]. *Journal of Taiyuan University of Science and Technology*, 2006, **27**(4): 256 ~ 258. [陈高华, 卓东风, 夏锡锐. 基于 Hough 变换直线检测中的峰值提取[J]. *太原科技大学学报*, 2006, **27**(4): 256 ~ 258.]
- Yuan Wei-peng, Shi Peng-fei. A new improvement of randomized Hough transform based on fuzzy theory[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2002, **36**(12): 1825 ~ 1828. [袁卫鹏, 施鹏飞. 模糊随机 Hough 变换算法[J]. *上海交通大学学报*, 2002, **36**(12): 1825 ~ 1828.]
- Liu Gui-xiong, Shen Bo-hua, Feng Yun-qing *et al.* Study of image segmentation based on improved Hough transform[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, **10**(3): 257 ~ 260. [刘桂雄, 申柏华, 冯云庆等. 基于改进 Hough 变换图像分割方法[J]. *光学精密工程*, 2002, **10**(3): 257 ~ 260.]
- Zeng Xian-gui, Li Shao-fa, Zuo Wen-ming. An approved Fisher discriminant criterion function and its corresponding optimal set of discriminant vectors[J]. *Computer Engineering*, 2005, **31**(16): 19 ~ 23. [曾宪贵, 黎绍发, 左文明. 一种变形 Fisher 判别准则函数及最优判别向量集[J]. *计算机工程*, 2005, **31**(16): 19 ~ 23.]
- Bian Zhao-qi, Zhang Xue-gong. *Pattern Recognition*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 87 ~ 89. [边肇祺, 张学工. *模式识别*[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 87 ~ 89.]