

农业机械视觉导航基准线识别算法研究

迟德霞^{1,2}, 王洋¹ (1. 辽宁石油化工大学, 辽宁抚顺 113001; 2. 沈阳农业大学工程学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要 随着计算机技术和图像处理技术的发展, 机器视觉导航技术的研究与应用已扩展到农业工程领域, 与 GPS 技术一起成为农业机械导航领域中最有发展前景的导航技术。该文介绍了农业机械视觉导航技术中可用于导航基准线的几种识别方法的原理和特点并对各种方法的应用研究进行了综述。

关键词 自主导航; 图像处理; Hough 变换; 垄线识别

中图分类号 S23-0 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2012)22-11523-02

Research on the Directrix Recognition Algorithm of Vision Navigation of Agricultural Machinery

CHI De-xia et al (Liaoning Shihua University, Fushun, Liaoning 113001)

Abstract With the development of computer and image processing technology, the research and application of machine vision technology have expanded to the field of agricultural engineering. The vision technology, together with GPS technology, have been the most popular technology in the navigation field of agricultural machinery. The paper described the principles and characteristics of several common directrix recognition algorithms of vision navigation of agriculture machinery, and then reviewed their application studies.

Key words Autonomous navigation; Image processing; Hough transform; Directrix recognition

随着计算机技术、图像传感器和图像处理技术的不断发展, 机器视觉技术在农业工程领域应用越来越广泛^[1-2]。而机器视觉导航灵活性大, 实时性和精确度高, 尤其是与高精度 GPS 相比更为廉价, 使其成为农业机械导航配备的首选。图像处理是机器视觉导航的基础, 能否实时提供正确的图像信息对导航系统起着重要作用。

在同一块地中, 农作物通常是按照彼此平行的直线种植, 排列比较规则, 所以行成的图像是比较规则的几何图形。农田机械视觉导航的基准线可采用田垄、犁沟、行垄、未完全覆盖地表的作物和已收割作物形成的边缘等, 而这些参照物所构成的实际引导线主要是直线和可以用多段直线拟合的小曲率曲线。如何从图像中识别出这些参照物, 检测出作物垄行基准线, 提供导航参数, 是机器视觉导航的主要任务。目前常用的垄线识别方法有 Hough 变换法、垂直投影法和灰度统计法等。

1 Hough 变换法

1962 年 Paul. Hough 根据数学对偶性原理提出了检测图像直线的方法(Hough 变换法)。该法采用图像空间的边缘数据点计算参数空间中的参考点的可能轨迹, 并在一个累加器中给计算出参考点计数, 最后选出峰值, 该峰值表明在图像空间上有一共线点较多的直线, 该直线的参数由累加器的 ρ 和 α 决定, 则图像空间中满足该式的点 (x, y) 就组成了该直线。根据 Hough 变换原理, 可按下列步骤实现 Hough 变换: ①在 ρ 和 α 合适的最大值和最小值之间建立一个离散的参数空间; ②将参数空间量化成 $m \times n$ 个单元(m 为 ρ 的等份数, n 为 α 的等份数), 并设置累加器矩阵; ③给参数空间中的每个单元分配一个累加器 $Q(i, j)$, 并把累加器的初始值置为零; ④取出直角坐标系中的点 (x, y) 代入式 $\rho = x \cos \alpha + y \sin \alpha$, 并以量化的 α 值计算 ρ ; ⑤在参数空间中, 找到 ρ 和 α 所

对对应单元, 并将该单元的累加器加 1, 即 $Q(i, j) = Q(i, j) + 1$; ⑥当直角坐标系中的点都经过③、④两步遍历后, 检验参数空间中每个累加器的值, 累加器最大的单元所对应的 ρ 和 α 即为直角坐标系中的直线方程式 $y = kx + b$ 的参数^[3]。

Reid. J 较早地将 Hough 变换用于提取作物垄行^[4], 他们将导航系统安装在拖拉机上, 使用贝叶斯分类器来处理近红外图像把土壤和作物分割开来, 用回归方程表示图像中代表作物的像素^[5]。杨为民等采用基于 Hough 变换和动态窗口技术的图像处理算法提取自然环境下的导航特征, 在东方红 LF80-90 拖拉机前端的安装 CCD 摄像机采集前方场景中图像, 经过图像处理后得出车辆当前的横向位置偏差和方向角误差, 测试结果表明该算法能够可靠的提取各种导航特征, 得到的导航基线与人眼视觉得出的结论相符, 每幅图像的处理速度均在 100 m/s 以内, 能够满足实时图像处理的要求^[6]。张志斌等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, 根据垄线根据垄线点空间关系, 运用 Fisher 准则函数进行反压缩处理, 得出了多垄识别统一模型^[7]。周俊采用 Hough 变换结合卡尔曼滤波预测, 提取作物边界的导航参数, 在样机纵向速度为 0.27 和 0.94 m/s 时, 能较好地跟踪篱笆边缘^[8]。

采用 Hough 变换提取导航基线鲁棒性很强, 受噪声和断垄的影响小, 而且能够确定特征到亚像素级精度, 但 Hough 变换本身存在累加器峰值较难确定和重复线段多等问题, 在杂草等噪声较大时, Hough 变换识别垄线系统的实时性和准确性较差。

2 垂直投影法

H. T. Sogaard 较早阐述垂直投影法, 这种方法的基本工作原理是: ①对图像预处理得到灰度图像; ②将图像水平划分成若干等间距的图像条(为了减少计算量, 可以舍弃部分图像条); ③对水平分割后的图像条 k 作垂直投影曲线 $P(j)$, 投影曲线上 $P(j)$ 可以获得与图像条上作物相对应的突出波

作者简介 迟德霞(1979-), 男, 辽宁凤城人, 讲师, 在读博士生, 从事农业机械系统理论与设计研究, E-mail: cdx-215@163.com。

收稿日期 2012-03-23

峰,图像条作物定位问题则转变成投影曲线上突出波峰定位问题;④计算图像平均灰度值 T ,并将 T 在垂直投影曲线上做水平线,该水平线与投影曲线每组相邻上升点与下降点均值则为作物行中心点坐标 (x, k) ;⑤按作物行归类,将同一作物行的定位点保存为一类;⑥对定位点数据进行线性回归,拟合成直线,作为作物行中心的直线方程。

H. T. Sphgaard 等通过分别在手推车和挂有条播机的拖拉机上安装彩色摄像机采集图像,用 2G-R-B 的彩色图像转变为灰度图像,对作物垄行灰度信息累计,在确定垄基准线位置,用图像中预先设置好的绳索图像作对照与检测出来的垄基准线线进行对比,精度在 $\pm(6 \sim 12)$ mm 之间^[9]。袁佐云应用该方法对大豆和小麦图像进行处理,作物行的拟合基准线基本反映了作物行的位置,其中一条拟合基准线误差较大^[10]。孙元义等利用该方法对棉田图像进行处理获得导航基准线后经过 hough 变换得到导航参数,在棉田喷药机器人上进行试验,在 40 m 距离内,位移偏差 4.1 cm,角度偏差 0.9 cm(摄像机俯视角 45°)^[11]。毛可骏等将该方法用于水稻图像上,找到定位点,拟合成秧苗垄基准线,根据透视投影原理获得导航参数,计算插秧机的位移偏差和角度偏差。试验结果证明,该方法准确地提取了秧苗各行的位置,计算得出的位移偏差及角度偏差与人工测量误差小,能够为无人驾驶插秧机的研究提供视觉基础^[12]。

该方法通过垄行灰度信息累积来确定垄基准线位置,对于条播作物如大豆的图像和小麦上比较连续,不经常出现断点,这种图像定位精度较高,但是对于穴播作物,由于图像是不连续的,会造成垄线定位不准确。此外,该方法还容易受到杂草等影响,有待提高,但算法简单,计算时间较短,实时性高。

3 基于像素的灰度统计法

赵颖等对于排作机器人图像进行了研究,利用已耕地和未耕地之间颜色和亮度的差别,采用 RGB 色彩模型中的 R 通道作为研究对象,求取图像中每一列的像素值之和,以像素值所在列序号为横坐标,像素值为纵坐标,获得像素值分布曲线 $L(j)$,有用该图像平均像素值 T 在与曲线 $L(j)$ 相交,交点即有可能出现犁沟线的坐标 B 。在求取图像中每一行的像素值之和,以像素值所在行序号为横坐标,像素值为纵坐标,获得像素值分布曲线 $H(i)$,在曲线 $L(j)$ 最大位置处与起点连直线 K ,求 K 与 $H(i)$ 之间最大距离 L , L 点处即为图像上犁沟线的终止点 C 。在以坐标 $(B, C + 25)$ 或 $(x, C + 25)$ 为基准点,由基准点向候补点做映射,求得的斜率 m_i ,将 m_i 向 $[-2, 4]$ 的累加器内映射,在将累加器内最大值从新映射,直到累加器的区间范围小于设定精度时 β ,将累加器中最大值对应区间中点 m 作逆运算,求得斜率 k 。经过田间试验证明,该算法在处理静态图像时,效果很好;在处理动态图像时,可能出现较大偏差,但不影响总体效果,而且该算法处理时间大大减少^[13]。王晓燕等用该方法对玉米直立根茬图像进行研究,有效地提取出秸秆行茬导航路径,计算时间不超过 0.1 s^[14]。B. Chen 等用此方法在稻田图像进行了研究,在 B 通道下对图像进行如上计算,成功的提取了 69 幅图像的基线,计算时间很短,处理 24 幅图像的时

间为 $0.4 \sim 0.8$ s^[15]。

4 其他方法

张志斌等根据田间作物垄点像素矩阵特点,基于行向量目标像素良序子集,先进行垄点子集预处理,然后运用最近邻判别准则搜寻每个垄点像素的最近邻点。通过设置最近邻搜索方向角和最近邻阈值,对断垄和较大面积的杂草等噪声影响进行控制。试验结果表明:该算法的准确性和鲁棒性均得到提高,时间复杂度较小^[16]。

赵博等针对影响较大的垄间杂草环境,提出一种基于 BP 神经网络的杂草环境下导航路径识别方法。田间试验证明,该方法对杂草的影响具有较好的适应性,能够快速、可靠、准确地提取导航路径特征,识别率为 97%,单幅图像平均耗时 560 m/s^[17]。

周俊针对非结构化的农田自然环境,利用小波变换分析多分辨率边缘检测,最后结合跟踪路径的特点融合了多分辨率检测结果,对油菜地图像进行处理,结果表明了该算法可以有效地识别出视觉导航系统期望的跟踪路径^[18]。

5 结论

目前,机器视觉技术作为一种廉价、可靠地导航方案,在农业机械导航领域有着广阔的应用前景。各国家的科研工作者提出了农业机械视觉导航中基准线的多种提取方法,这些方法在试验中取得了很好的效果,但也有着不足之处。因此,需要广大科研工作者共同努力,提高机器视觉导航技术水平。

参考文献

- [1] REID J F. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 133-153.
- [2] TORII T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 155-167.
- [3] 唐佳林,王镇波,张鑫鑫. 基于霍夫变换的直线检测技术[J]. 科技信息, 2011(14): 33-35.
- [4] REID J F, SEARCY S W. Detecting crop rows using the Hough Transform [C]//ASAE paper 86-3042. St Joseph, MI, USA, 1986.
- [5] REID J F, SEARCY S W. Vision-based guidance of an agricultural tractor [J]. IEEE Control Systems, 1987, 7(12): 39-43.
- [6] 杨为民,李天石,贾鸿社. 农业机械机器视觉导航研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 160-165.
- [7] 张志斌,罗锡文,周学成,等. 基于 Hough 变换和 Fisher 准则的垄线识别算法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(12): 2164-2168.
- [8] 周俊,姬长英,刘成良. 农用轮式移动机器人视觉导航系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 90-94.
- [9] Sphgaard H T, OLSEN H J. Daard determination of crop rows by image analysis without segmentation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38: 141-158.
- [10] 袁佐云. 基于计算机视觉的作物行中心线识别研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [11] 孙元义,张绍磊,李伟. 稻田喷药农业机械机器人的导航路径识别[J]. 清华大学学报, 2007, 47(2): 206-209.
- [12] 毛可骏,周平,赵匀,等. 基于机器视觉的自主插秧机导航信息的提取研究[J]. 农机化研究, 2009(5): 63-66.
- [13] 赵颖,陈兵旗,王书茂,等. 基于机器视觉的排作机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报, 2006, 37(4): 83-86.
- [14] 王晓燕,陈媛,陈兵旗,等. 免耕覆盖地秸秆行茬导航路径的图像检测[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 158-163.
- [15] CHEN B, TOJO S, WATANABE K. Machine vision for a micro weeding robot in a paddy field[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(4): 393-404.
- [16] 张志斌,罗锡文,王在满. 基于良序子集的最近邻垄行图像识别算法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(11): 2048-2051.
- [17] 赵博,毛恩荣,毛文华. 农业车辆杂草环境下视觉导航路径识别方法[J]. 农业机械学报, 2009(9): 183-186.

(下转第 11526 页)

进电机进行实时监视,用触摸屏(HMI)调节转速,使步进电机按不同转速转动,从而带动排肥器排出不同质量的肥。在排肥器出口的位置上固定一个肥料接收容器接收排出的肥料,接收容器的重量为 0.109 kg,每次测定排肥器转动的时间为 60 s,测定完成后对每个肥料接收容器内的肥料进行单独称重,做好数据记录。总结试验所得的排肥量与理论上的施肥量之间存在的误差。4 种肥料,共做 4 组不同轮长和转速情况下的排肥量试验。

2.1.4 数据处理。利用 SPSS11.5 软件得到排肥量与轮长、转速关系趋势线。

3 结果与分析

按试验设计方案共做了 4 组不同轮长和转速情况下的排肥量试验。结果经 SPSS11.5 软件处理得图 3~6。

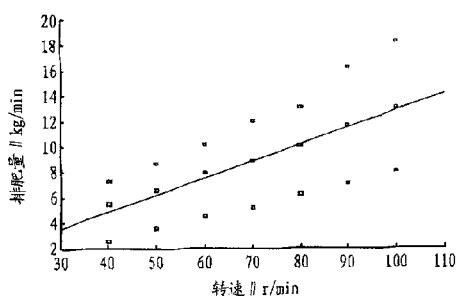


图3 磷酸二铵的排肥量关系与轮长、转速关系趋势线

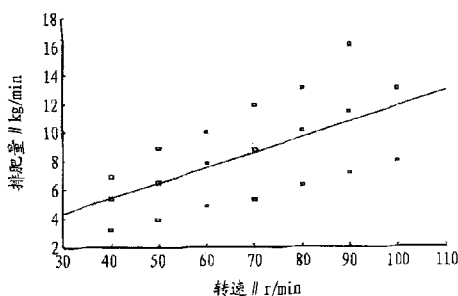


图4 KCl的排肥量关系与轮长、转速关系趋势线

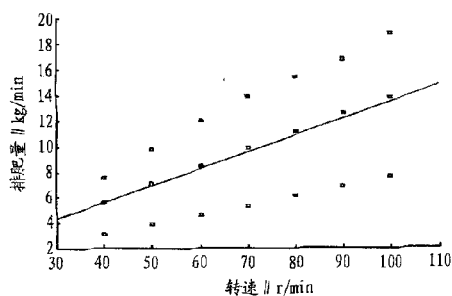


图5 有机复合肥的排肥量关系与轮长、转速关系趋势线

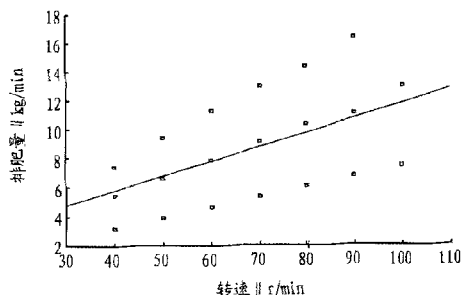


图6 硫酸钾的排肥量与轮长、转速关系趋势线

由 4 种肥料在不同排肥轮长和排肥轴转速情况下的趋势曲线分析可知:①可以采用控制排肥轮长度和步进电机转速的方式,来实现控制排肥量的目的。在施肥机和肥料确定的情况下,单位时间内排肥量 q 与排肥轮长度 l 、转速 n 成规则的线性关系。即: $q = k_1 l + k_2 n + k_3$ (其中 q 代表排肥量; l 代表排肥轮长度; n 代表转速)。②对于每一种肥料,当排肥器的个数 N 增加 2 倍时,排肥量 q 中的系数 k_1 、 k_2 、 k_3 也随着增加 2 倍,这 3 个系数的增长幅度与 N 的增长幅度基本相同。③排肥轮长度不变时,转速 n 与机具前进速度 v 有如下关系:

$$n = \frac{0.00167Q \cdot B \cdot N - b}{k}$$

其中, Q 代表每公顷施肥量; v 代表机具前进速度; B 代表施肥机行距; N 代表排肥器个数, k 代表排肥量与转速拟合直线的斜率, b 排肥量与转速拟合直线的截距。对于确定的施肥机和肥料,在轮长不变的情况下,参数 B 、 N 、 b 、 k 的值是不变的。对于不同的施肥机或肥料,只需要改变这些参数。

4 结论

结合吉林省农业、农村生产的特点,提出了适合吉林省农业、农村生产状况的变量施肥系统的构想。以 4 行小型深松施肥机为例,采用步进电机作为变量施肥的执行机构,通过与控制机构的联结和计算机软件开发、成套设备整机组装实验研究等,得到了不同肥料条件下,在不同的排肥轮转速及不同的排肥轮工作长度的关系趋势曲线。结果证明,通过控制排肥轮长度和步进电机的转速,可实现控制排肥量,达到提高肥料利用率、实现变量施肥的目的。

参考文献

- [1] 张伟. 农业发展新课题——精准农业[J]. 农业工程学报, 1997, 13(3): 249-252.
- [2] 王熙, 王新忠. 三种不同变量施肥执行机构的比较研究[J]. 农机化研究, 2006(1): 122-124.
- [3] 冷惠文. 步进驱动方式在电动执行器控制中的应用[J]. 自动化仪表, 2007(6): 25-26.
- [4] 李世伟, 郑萍, 邵子惠, 等. 基于 HMI 与 PLC 的变频调速系统的设计[J]. 现代电子技术, 2008(19): 112-113.
- [5] 陈兴文, 刘燕. 基于单片机的步进电机细分驱动器设计[J]. 电机与控制应用, 2009(7): 33-36.

(上接第 11524 页)

- [18] 周俊, 姬长英. 农业机器人视觉导航中多分辨率路径识别[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 120-123.

- [19] 廖强, 罗建, 谢钱涛. 基于主动视觉的精密检测系统分析[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2010(4): 79-85.