

基于机器视觉技术获取导航基准线的方法

籍 颖^{1,2} 刘 刚¹ 申 巍¹

(¹ 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; ² 河北农业大学信息科学与技术学院, 河北 保定 071000)

摘要 机器视觉是对农业机械进行导航的一种重要方法。提出一种在农业机械导航系统中,利用机器视觉技术获得导航基准线的方法。该方法从农田作业环境特点出发,主要利用颜色特征因子(2G-B-R)进行灰度化处理,使用最大类间方差(OTSU)自动阈值法获得二值化图像,采用基于已知点的改进 Hough 变换方法,提取导航基准线,解决传统 Hough 变换处理速度较慢的问题。实验表明,该算法处理 640 pixel×480 pixel 的彩色图像平均用时 100 ms,正确识别率为 92%,能够满足农田作业的实时处理要求,是一种快速有效地图像处理算法,具有特定的实用价值。

关键词 图像处理;机器视觉;导航;基准线;改进 Hough 变换

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092912.3362

A Method Based on Machine Vision to Obtain a Guidance Directrix

Ji Ying^{1,2} Liu Gang¹ Shen Wei¹

(¹ College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
² College of Information and Science & Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract Machine vision is an important method for navigation of agriculture machine. A machine vision algorithm is presented to obtain a guidance directrix for an automatic machine guidance system. Based on the operating environment characteristics of the farmland, this method focuses on a gray-scale transform by using color factor (2G-R-B), and a binary transform by using OTSU threshold method, and a known point improved Hough transform to extract the guidance directrix. This method can solve the problem of low speed of traditional Hough transform. Experiments show that it takes only 100 ms on average to deal with a 640 pixel×480 pixel color image by using the algorithm and correct recognition rate reaches to 92%. It can meet the requirements of real-time processing. It is a fast and effective algorithm for image processing, and is of some practical value.

Key words imaging processing; machine vision; guidance; directrix; improved Hough transform

1 引 言

随着图像处理技术的飞速发展,机器视觉的应用范围越来越广泛,尤其在印刷行业、工业、农业、医学等方面^[1~3]。在农业机械导航方面,随着以信息化技术为核心的精细农业的快速发展,基于机器视觉的导航技术以其灵活性、实时性和精度好等优点得到了普遍的关注。由于农田作业自身的特点,由作物行、田垄、犁沟等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,因此在视觉

导航中通过对直线特征的检测就可以得到导航的基准线^[4]。基准线提供导航车辆位置信息,是对车辆进行准确导航控制的关键。

基于机器视觉技术的农用车辆导航适合于具有作物行结构的农田,目前使用最多的是导航拖拉机在田间耕作或是引导联合收割机进行收割作业^[5]。通过使用摄像机,可实现相对定位,确定车和作物间的相对位置。视觉导航根据局部特征调整车辆的导航路线。其应用原理和人驾驶类似,在农用车辆导

收稿日期: 2009-01-05; 收到修改稿日期: 2009-03-09

基金项目: 国家 863 计划(2006AA10A304)资助课题。

作者简介: 籍 颖(1977—),女,博士研究生,讲师,主要从事数字图像处理方面的研究。E-mail: hdjiying@163.com

导师简介: 刘 刚(1966—),男,博士,教授,主要从事农业电气化与自动化方面的研究。E-mail: pac@cau.edu.cn(通信联系人)

航系统研究与应用中具有较大的发展潜力。

近年来,研究人员提出了多种利用图像处理提取导航基准线的方法。由于 Hough 变换(HT)抗干扰能力强,不受直线间断点影响而成为检测直线的有效方法,大多研究人员使用 HT 对图像进行分析。Reid 等^[6]利用带有近红外镜头的摄像机,采用聚类算法进行图像分割,最后运用 HT 获取导航基准线。赵颖等^[7]利用过已知点的 HT 提取犁沟线。Bakker 等^[8]把多行叠加到一行,运用灰度 HT 提取甜菜行。由于传统的 Hough 变换计算量大,需要较大的存储空间和较长的计算时间,无法保证实时性^[9]。本文的主要目的是研究一种有效的、实时的基于农田景物的导航方法,采用了基于已知点的改进的 Hough 变换,在减少计算量的同时,保证了处理结果的稳定性,并设计了在导航系统中对作物获取导航基准线的软件系统。

2 实验方法

以一组田间采集的麦苗图像为原始图像进行处理,其算法流程如图 1 所示。本算法的目标是在作物列间路径中间提取导航基准线。

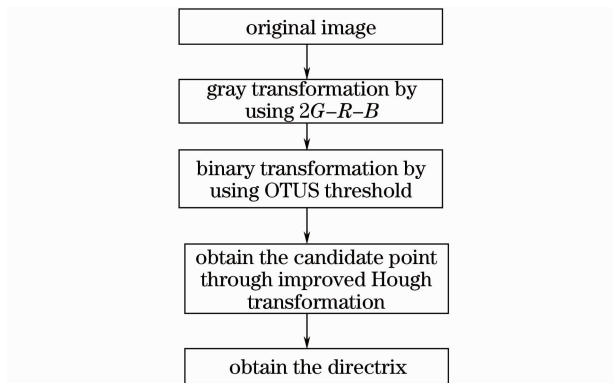


图 1 导航定位算法流程图

Fig. 1 Flow chart of navigation location algorithm

2.1 灰度转换

在农田图像信息中,地块与农作物之间在基于某一基色上有很大的区别。在生长期,麦苗为绿色,而背景(土壤)为黑色。因此,目标的绿色可以用来作为分割的标准。为了更好的把图像各部分表示出来,可以通过加大绿色(G)分量的比重来进行灰度化,从而加大作物行和图像其它信息的可分离度。因此,引入农田图像 RGB 彩色模型的颜色特征因子 2G-R-B,将彩色图像转化为灰度图像。设定 2G-R-B 的差值:即 $D_{2G-R-B} = 2G-R-B$,这里 R,G,B 分别代表像素红、绿、蓝色的成份。经 2G-R-B 灰度变换后,作

物行图像信息已被清晰地分离出。

2.2 最大类间方差(OTSU)法图像二值化

图像二值化的主要依据是不同时期、不同农田中,由于光照、阴影、噪声等因素的影响,图像的灰度值及其分布不一样,不能用单一的阈值分割农作物与其它背景图像信息,必须从图像灰度分布的实际情况出发,动态地找出最优的阈值进行图像分割。

原始图像转化为灰度图像后,为了得到二值图像必须设定一个阈值。灰度值低于该阈值的设置为白色,高于该阈值的则设置为黑色^[10]。阈值的设定表示为

$$\sigma^2(k) = w_0(\mu - \mu_0)^2 + w_1(\mu - \mu_1)^2, \quad (1)$$

其中假设图像有 M 个灰度, $N = \sum_{i=1}^M n_i$, n_i 表示灰度级为 i 的像素的个数, N 是图像像素的总数。 $P_i = n_i/N$, 表示灰度级为 i 的像素的概率。

若取灰度门限值 K, 则图像像素按灰度级可分为 C_0, C_1 两类, $C_0 = \{1, 2, \dots, k\}$, $C_1 = \{k+1, \dots,$

$M\}$; $\mu = \sum_{i=1}^M iP_i$, 是图像的总平均灰度值; $\mu_0(k) = \sum_{i=1}^k iP_i$, 是 C_0 部分的平均灰度值; $N_0 = \sum_{i=1}^k n_i$, 是 C_0

部分的像素数; $w_0(k) = \sum_{i=1}^k P_i$, 是 C_0 部分在图像中的比例; $\mu_0 = \mu_0(k)/w_0(k)$, 是 C_0 部分的平均灰度级; μ_1 和 μ_0 类似; $\mu = w_0(k)\mu_0 + w_1(k)\mu_1$, 是整幅图像的总平均灰度值。 $\sigma^2(k)$ 是目标选择函数, 当 K 在 1 ~ M 之间变化, 使 $\sigma^2(k)$ 最大值的 K 就是所求最佳的门限值。本算法中阈值取为 40。

通过实验发现 OTSU 能很好从灰度图像中分割农作物行和其它背景图像。OTSU 法选取出来的阈值比较理想, 虽然它在有些情况下不是最佳的分割, 但分割质量通常都有一定的保障, 是最稳定的分割, 适用性强, 具有较好的稳健性。

2.3 提取 Hough 变换候选点

图像二值化后, 以白像素为目标像素, 设定一个模板, 宽为 1 pixel, 高为 n pixel。本算法 n 取 20。在二值图像中, 从图像底部的一行开始, 从左到右移动该模板, 模板区域内目标像素的个数为

$$y = \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i), \quad (2)$$

其中 $f(x_i, y_i)$ 为点 (x_i, y_i) 在二值图像中是否为目标像素的函数,

$$f(x_i, y_i) = \begin{cases} 1, & (x_i, y_i) \text{ is target pixel} \\ 0, & (x_i, y_i) \text{ is not target pixel} \end{cases} \quad (3)$$

当模板移动到作物列间的二值图像时, y 的取值最大。完成一行的移动后, 得到 y_1, y_2, \dots, y_w (w 为图像的像素宽度)。设 $s(x) = y_x, s(x)$ 的平均值 A 和标准偏差 D :

$$A = \frac{1}{w} \sum_{x=1}^w s(x), \quad (4)$$

$$D = \sqrt{\frac{1}{w} \sum_{x=1}^w [A - s(x)]^2}. \quad (5)$$

设置一条阈值线 $y = A + D$, 该线以上的曲线部分为目标区域, 以 x_{11}, x_{r1} 表示第一个目标区域的左右端点; 同理 x_{1n}, x_{rn} 表示第 n 个目标区域的左右端点。计算各个目标区域的左右端点的中点, 即 $x_1 = \frac{x_{11} + x_{r1}}{2}, x_2 = \frac{x_{12} + x_{r2}}{2}, \dots, x_n = \frac{x_{1n} + x_{rn}}{2}$, 这些中点表示作物列间在每一阈值线上的目标点, 如图 2 所示。

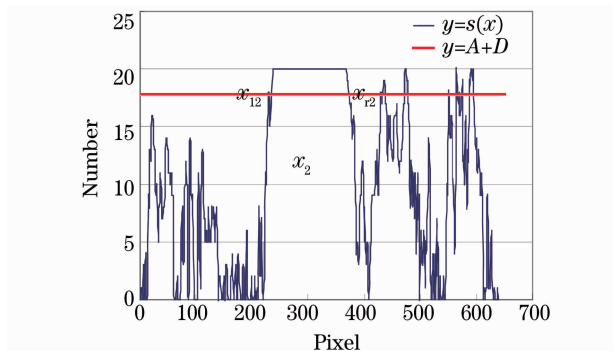


图 2 候选点的示意图

Fig. 2 Sketch of the candidate point

从上一行开始, 重复以上步骤, 直到离图像顶部有 $n-1$ 个像素为止。

2.4 确定 Hough 变换已知点

计算图像每一列的目标像素个数 $s(x)$, 然后计算 $s(x)$ 的均值 μ_x 和标准偏差 σ_x 。和(4)式, (5)式类似, 同样设置阈值线 $y = \mu_x + \sigma_x$, 得到左右端点 $(x_{11},$

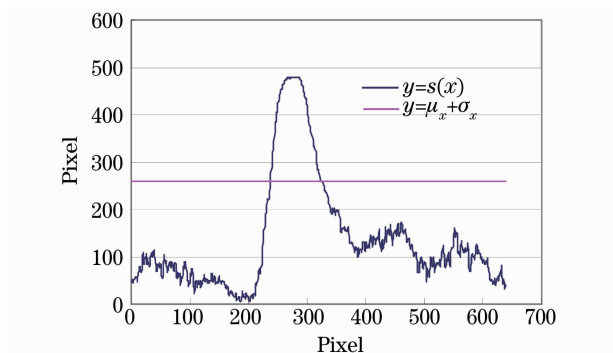


图 3 已知点的示意图

Fig. 3 Sketch of a known point

$x_{r1}), \dots, (x_{1n}, x_{rn})$ 。再计算各个目标区域的左右端点的中点, 即 $x_1 = \frac{x_{11} + x_{r1}}{2}, x_2 = \frac{x_{12} + x_{r2}}{2}, \dots, x_n = \frac{x_{1n} + x_{rn}}{2}$ 。取 $s(x_i)$ 值最大时的 x_i 为已知点, 如图 3。

2.5 改进的基于已知点 Hough 变换

传统 Hough 变换是一种穷尽式搜索, 具有盲目性, 其要求的计算量和存储空间都很大, 不适合农业操作实时性的要求。为了解决这一问题, 采用了基于已知点的改进 Hough 变换方法。这种方法在 Hough 变换基本原理的基础上, 将逐点向参数空间投票转化为所有点向一个已知点的投票, 经过这种转化, 解决了由于计算量大而造成的处理速度慢的问题^[11,12]。

在可能有直线出现的位置上找到所有的点(方向候补点), 设目标图像的已知点是 $p_0(x_0, y_0)$ 通过该点的直线斜率是 m , 则坐标和斜率的关系可表示为 $y - y_0 = m(x - x_0)$ 。定义目标区域内某像素 p_i 的坐标为 (x_i, y_i) , ($0 \leq i \leq n$) 则 p_i 点和 p_0 点之间连线的斜率 m_i 可表示为 $m_i = (y_i - y_0) / (x_i - x_0)$ 。

将斜率值映射到一组累加器 $B(m_i)$ 上, 每求得一个 m_i , 将使其对应的累加器的值加 1。因为同一条直线上的点求得的斜率相同, 所以当目标区域中有直线时, 其对应的累加器出现局部最大值, 将该值所对应的斜率 m_i 作为所求直线的斜率, 通过已知点和斜率就可以得到一条直线, 即导航基准线。这种方法不仅继承了传统 Hough 变换的优点, 而且减少了计算量, 提高了计算速度。

通过导航基准线和车辆当前位置信息, 就可以计算得到当前车辆与期望路径间的航向偏差和横向偏差, 上位机通过这些参数就可以控制车辆按照期望的路径行驶。

3 实验结果及方法分析

使用北京嘉恒公司的 OK 系列摄像机 AC 1310, 摄像机的工作状态由微机控制且可通过 RS232C 串行接口设置。使用的计算机主频是 1.53 GHz, 512 MB 内存。以 Visual Studio 2005 平台为开发环境, 使用 VC++ 语言, 程序输出参数是以作物行为特征的直线。实验是在晴天进行的, 车速为 2~3 m/s, 相机高度为 1.0 m, 俯角为 15°, 相机相对水平线的角度可以进行 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 的调整。摄像机安装如图 4 所示。

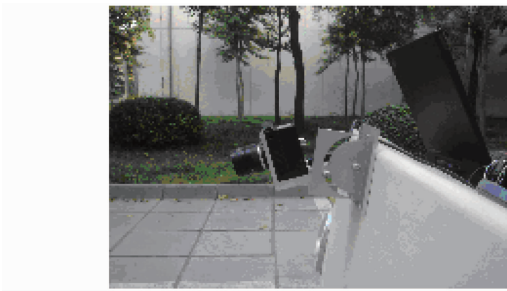


图 4 摄像机安装位置图

Fig. 4 Location of the camera

图 5 给出了原始图像及变换图像；图 5(a)为采

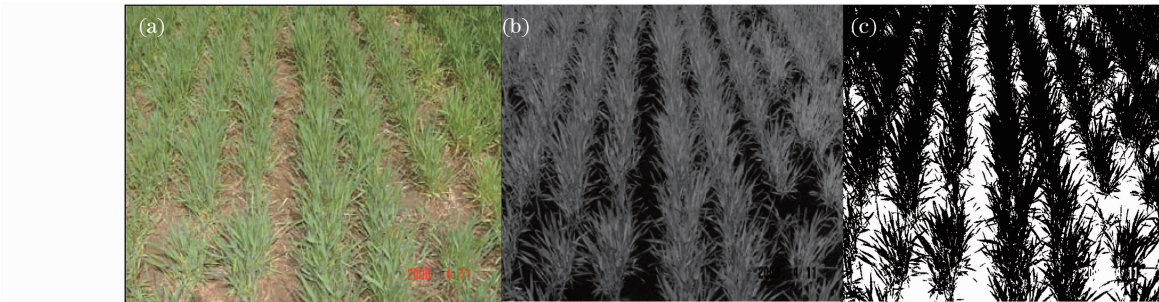


图 5 原始图像及变换图像。(a) 原始图像；(b) 2G-R-B 灰度化后图像；(c) OTSU 自动阈值二值化图像

Fig. 5 Original image and processed images. (a) original image; (b) image after 2G-R-B gray-scale transform; (c) image after a binary transform by using OTSU threshold method

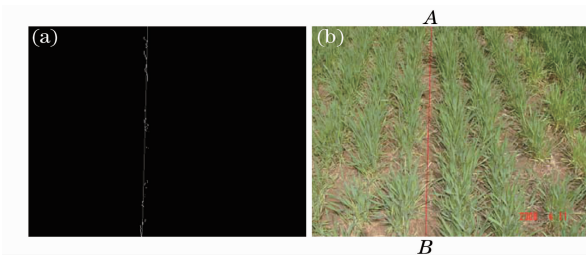


图 6 提取的导航基准线(a)和示意图(b)

Fig. 6 Guidance directrix. (a) extracted directrix; (b) schematic of the directrix

对于 $640 \text{ pixel} \times 480 \text{ pixel}$ 图像,在进行目标作物列候选点检测后进行传统 Hough 变换平均耗时 202.23 ms 左右。用该方法来处理采集的不同角度,不同环境下的图像 78 幅,成功率 92% ,平均处理速度为 100.87 ms ,速度提高了近 50.1% 。实验结果表明,尽管有噪声,导航基准线总是大致处于行间中点的位置,该方法能够有效去除噪声的影响,不受苗间杂草和苗间缺株的影响,而且在光线变化不剧烈的情况下依然适用,具有较好的稳健性。最高车速限制在 3.5 m/s 以下,该方法能够满足实时处理的要求。

4 结 论

本文从作业环境特点出发,采用基于已知点的

集的田间麦苗原始图像;图 5(b)为使用特征因子 $2G-R-B$ 灰度化的图像,各列间像素灰度值较小,麦苗的像素值较高,图像类间距离很大,有利于后续的处理;图 5(c)是使用 OTSU 自动阈值二值化得到的图像,可以看出,麦苗和背景很好的分离开,为提取基准线做好了基础。

通过使用过已知点的改进的 Hough 变换,得到导航基准线,如图 6 所示,成功地提取出导航基准线。该导航基准线在原始图像中的位置,如图 6(b)中线段 AB 所示,便于判断提取的基准线的情况。

改进的 Hough 变换方法,提出了一种基于机器视觉技术获得导航基准线的方法。该方法简单实用,能够有效去除图像中的噪声,具有较好的稳健性;不仅能准确地提取导航基准线,而且能够大大减少计算量,提高计算速度,为导航控制提供准确信息。本方法能够实时准确地提取不同生长时期条件下的小麦作物行图像,同样适用于玉米和大豆等其他作物。

参 考 文 献

- Xu Peixin, Tang Xinhua, Lu Fenggui *et al.*. Seam three-dimensional recovery using vision sensor based on circular laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(12): 2215~2219
徐培全,唐新华,芦凤桂等. 利用环形激光视觉传感的焊缝三维恢复[J]. *光学学报*, 2007, **27**(12): 2215~2219
- Shi Xiaojun, Zhang Xiaohui, Hu Zhongxiang *et al.*. Measurement of plane grinding surface roughness based on machine vision[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(s2): 320~323
时小军,张小辉,胡仲翔等. 基于机器视觉的平磨表面粗糙度检测[J]. *中国激光*, 2008, **35**(s2): 320~323
- Zhang Yajing, Li Minzan, Qiao Jun *et al.*. Segmentation algorithm for apple recognition using image features and artificial neural network [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(11): 2104~2108
张亚静,李民赞,乔军等. 一种基于图像特征和神经网络的苹果图像分割算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(11): 2104~2108
- Yang Weimin, Li Tianshi, Jia Hongshe. Simulation and experiment of machine vision guidance of agricultural vehicles[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, **20**(1): 160~165
杨卫民,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
- 5 Shen Wei, Liu Gang. A robust approach to obtain a guidance directrix for vision-based agricultural vehicle guidance system[J]. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 2007, **50**(5): 1067~1072
- 6 J. F. Reid, Q. Zhang, N. Noguchi *et al.*. Agricultural automatic guidance research in North America [J]. *Comput. Electron. Agr.*, 2000, **25**(3): 155~167
- 7 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): 83~86
赵颖, 陈兵旗, 王书茂等. 基于机器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): 83~86
- 8 T. Bakker, H. Wouters, K. van Asselt *et al.*. A vision based row detection system for sugar beet[J]. *Comput. Electron. Agr.*, 2008, **60**(1): 87~95
- 9 Kang Wenjing, Ding Xuemei, Cui Jiwen *et al.*. Fast straight-line extraction algorithm based on improved Hough transform[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34**(3): 105~108
康文静, 丁雪梅, 崔继文等. 基于改进 Hough 变换的直线图形快速提取算法[J]. *光电工程*, 2007, **34**(3): 105~108
- 10 Zhang Wei, Du Shangfeng. Machine vision recognizing position baseline in cropland [J]. *J. China Agricultural University*, 2006, **11**(4): 75~77
张卫, 杜尚丰. 机器视觉对农田中定位基准线的识别[J]. *中国农业大学学报*, 2006, **11**(4): 75~77
- 11 Zhao Ying, Wang Shumao, Chen Bingqi. Fast detection of lines on highway based on improved Hough transform[J]. *J. China Agricultural University*, 2006, **11**(3): 104~108
赵颖, 王书茂, 陈兵旗. 基于改进 Hough 变换的公路车道线快速检测算法[J]. *中国农业大学学报*, 2006, **11**(3): 104~108
- 12 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
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