

# 基于垄线平行特征的视觉导航多垄线识别

陈 娇<sup>1</sup>, 姜国权<sup>2</sup>, 杜尚丰<sup>1\*</sup>, 柯 杏<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 河南理工大学计算机科学与技术学院, 焦作 454000)

**摘 要:** 为有效快速地识别农田多条垄线以实现农业机器人视觉导航与定位, 提出一种基于机器视觉的田间多垄线识别与定位方法。使用 VC++ 6.0 开发了农业机器人视觉导航定位图像处理软件。该方法通过图像预处理获得各垄行所在区域, 使用垂直投影法提取出导航定位点。根据摄像机标定原理与透视变换原理, 计算出各导航定位点世界坐标。然后结合垄线基本平行的特征, 使用改进的基于 Hough 变换的农田多垄线识别算法, 实现多垄线的识别与定位。使用多幅农田图像进行试验并在室内进行了模拟试验。处理一幅 320×240 的农田图像约耗时 219.4 ms, 室内试验各垄线导航距与导航角的平均误差分别为 2.33 mm 与 0.3°。结果表明, 该方法能有效识别与定位农田的多条垄线, 同时算法的实时性也能满足要求。

**关键词:** 导航, 机器人, 图像处理, 机器视觉, 垄线识别, Hough 变换, 摄像机标定

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.019

中图分类号: TP242.6<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0107-07

陈 娇, 姜国权, 杜尚丰, 等. 基于垄线平行特征的视觉导航多垄线识别[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 107—113.  
Chen Jiao, Jiang Guoquan, Du Shangfeng, et al. Crop rows detection based on parallel characteristic of crop rows using visual navigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 107—113. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

机器视觉导航近年来已成为农业机器人导航研究的主要方向之一。农田多垄线的识别与定位是农业机器视觉导航需要解决的关键问题。在农业机器视觉导航中, 多使用基于 Hough 变换的改进算法进行垄线的直线检测<sup>[1]</sup>。Hough 变换是 Paul Hough 在 1962 年提出的形状匹配技术, Duda 和 Hart 在 1972 年建立了直线检测的 Hough 变换。目前利用 Hough 变换识别单垄线的相关成果较多, 而多垄线识别由于 Hough 累加器峰值较难确定和重复线段多, 计算量大等问题<sup>[2]</sup>, 相关成果国内外都较少。华南农业大学的张志斌、罗锡文等提出了基于 Hough 变换和 Fisher 准则的垄线识别算法, 提高了识别的准确性<sup>[3]</sup>。但该算法计算时间长, 目前无法应用于实时处理。国外, Pla 等提出一种基于垄线消失点的算法<sup>[4]</sup>, Leemans<sup>[5]</sup>和 Gee<sup>[6]</sup>等提出了基于先验知识与消隐点的算法, 但都计算复杂且需先验知识。

国内外学者对 Hough 变换也提出了很多改进算法。如 Xu L 等提出了随机 Hough 变换 (randomized hough transform, RHT)<sup>[7]</sup>。RHT 是多对一的映射, 与传统 Hough 变换对比, 大大节省计算量。同时引入了随机性的思想。但在实际应用中随机点选取也变得很关键。在识别多垄

线中, RHT 检测出的直线不够稳定。

本文根据垄线之间基本平行的特征, 结合摄像机标定, 改进了 Hough 变换, 提出一种多垄识别与定位算法。该算法克服了以往算法计算复杂与不稳定等不足, 能有效避免垄线漏检测与跨垄检测的问题, 在识别垄线同时实现定位, 较好地满足了视觉导航的要求。

软件在 Intel Core Duo T2400 1.83GHZ, 512 M 内存的笔记本电脑, windows XP 操作系统上开发。使用 Microsoft Visual C++ 6.0。图像文件格式为 BMP。

## 1 图像预处理与导航定位点的提取

### 1.1 图像预处理

#### 1.1.1 图像灰度化与二值化

在农业机械作业环境中, 农作物与背景在绿色 (G) 上有很大区别, 可通过加大 G 值的灰度变换来增大可分离性。令图像各点灰度值为  $2G-R-B$ <sup>[8]</sup>对图像进行灰度化。

灰度化后, 采用最大类间方差法 (OTSU) 自适应阈值进行二值化<sup>[9]</sup>。OTSU (最大类间方差法) 是 1980 年由日本大津展之提出, 其基本思想是以最佳门限将图像灰度直方图分割成两部分, 使两部分类间方差取得最大值, 即分离性最大, 决定阈值。对不同时刻的图像进行 OTSU 处理, 可得到不同的最佳灰度阈值对不同时刻图像分割。

#### 1.1.2 膨胀-腐蚀图像形态处理与降噪

垄行需要沿垄方向膨胀以填补孔洞<sup>[9]</sup>, 选用  $5 \times 1$  pixel 结构元素进行膨胀。膨胀后会加强噪声, 采用  $1 \times 5$  pixel 结构元素腐蚀, 横向收缩。图 1 为小麦、玉米、大豆的农田垄行原始图像, 图 2 为农田垄行图像灰度化与二值化后效果图, 图 3 为农田垄行图像形态处理后的效果图。

收稿日期: 2009-03-09 修订日期: 2009-12-05

基金项目: 国家“十五”863 计划资助项目 (2006AA10A304)

作者简介: 陈 娇 (1985—), 福建福州人, 主要研究方向为机器视觉导航与图像处理。北京 中国农业大学 (东区) 信息与电气工程学院 459 实验室, 100083。Email: perijo85@yahoo.com.cn

\*通信作者: 杜尚丰 (1961—), 教授, 博士生导师。主要研究方向为智能控制, 智能机器人技术, 3S 技术应用。北京 中国农业大学 (东区) 信息与电气工程学院 459 实验室, 100083。Email: du\_grad\_stud@163.com

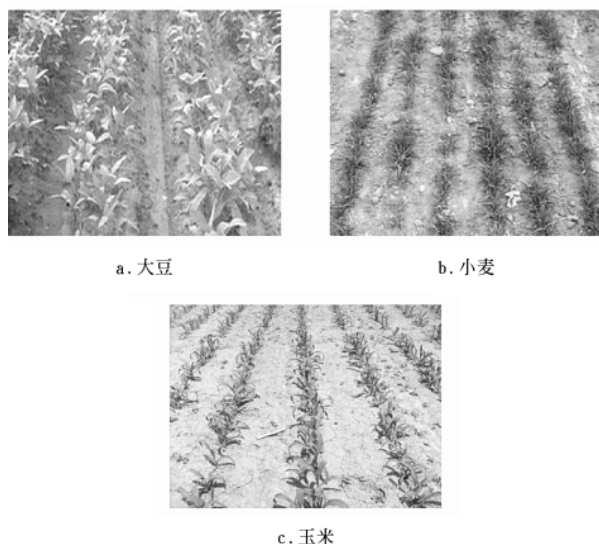


图1 小麦, 玉米, 大豆的农田垄行原始图像

Fig.1 Original images of crop rows of soybean, wheat and maize

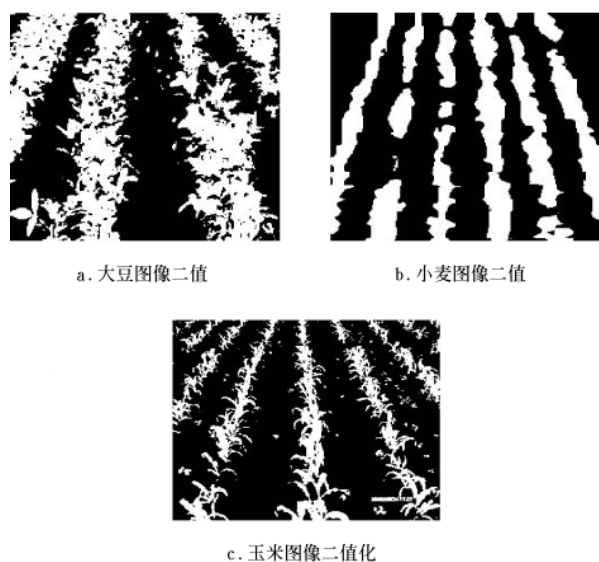


图2 农田垄行图像灰度化与二值化后结果

Fig.2 Binary images of crop rows

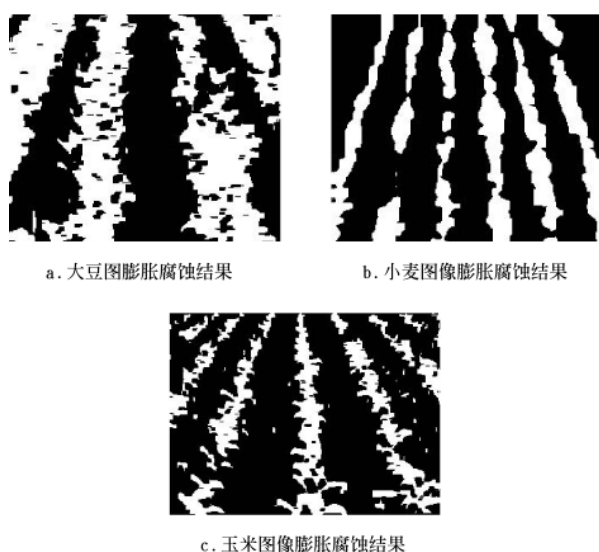


图3 农田垄行图像膨胀腐蚀后结果

Fig.3 Images of crop rows after dilation and erosion

## 1.2 垂直投影法获得导航定位点

采用袁佐云<sup>[10]</sup>等提出的垂直投影法获得导航定位点。每  $h$  个像素高度划分一个水平条, 对每个水平条垂直投影。设原始图像大小  $W \times H$ ,  $W$ ——每行图像的像素数, 即图像的列数;  $H$ ——每列图像的像素数, 即图像的行数; 水平条大小  $W \times h$ ,  $h$ ——水平条每列的像素数, 即水平条所含行数;  $c(i, j)$ ——水平条  $(i, j)$  处像素灰度值;  $p(j)$ ——水平条第  $j$  列所有点灰度值垂直投影值。算式如下

$$p(j) = \sum_{i=1}^h c(i, j), \quad j = 1, 2, \dots, W \quad (1)$$

根据  $p(j)$  曲线上波峰确定垄行区域, 区域中心即为导航定位点。令  $h = 5$ , 并把二值图像反转后结果如图 4 所示。

提取出各导航定位点后, 通常直接在图像空间对各点进行直线检测。这种方法不能直接利用各定位点在实际世界坐标系中的位置关系, 算法复杂度高, 而且往往需要先验知识<sup>[3-5, 11-13]</sup>。本文首先计算获得各定位点的世界坐标, 再对各点进行直线检测。

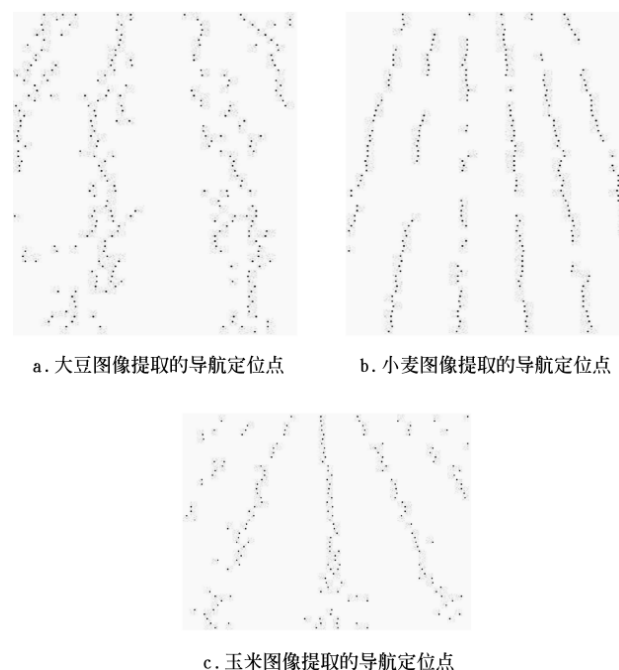


图4 农田垄行图像提取的导航定位点

Fig.4 Localization points of crop rows

## 2 计算各定位点的世界坐标

### 2.1 摄像机标定原理与线性成像模型

#### 2.1.1 摄像机标定原理

摄像机标定<sup>[14]</sup>是确定摄像机内部参数或外部参数的过程。线性模型内部参数:  $(u_0, v_0)$ ——光心在计算机图像上的像素坐标;  $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$ ——有效焦距;  $\gamma$ —— $u$ ,  $v$  轴不垂直因子, 一般为 0; 外部参数:  $R$ ——旋转矩阵;  $T$ ——平移矩阵。

设定的图像坐标系与像素坐标系如图 5 所示。

$u-v$ ——像素坐标系，原点取图像左下方； $x-y$ ——图像坐标系，mm； $o_1$ ——光心，像素坐标为 $(u_0, v_0)$ 。

由小孔成像的线性投影模型与图 5 可得式 (2)。

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中： $s$ ——比例因子； $(x_w, y_w, z_w)$ ——世界坐标系的坐标值，mm，直角坐标系。

由式 (2) 可知，在图像无畸变的情况下，只要获得摄像机内参矩阵和外参数矩阵，并结合实际应用，获得一个对投影点的空间位置约束，就可以计算图像上每一个导航定位点的世界坐标。

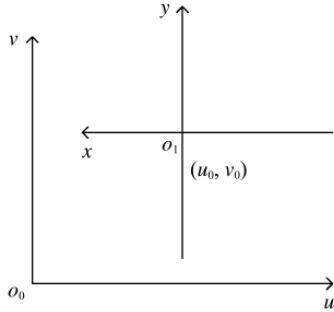


图 5 像素坐标系与图像坐标系

Fig.5 Pixel and retinal coordinate systems

### 2.1.2 外参数矩阵推导

图 6 为农业机器人示意图以及各坐标系的定义。 $o_c$ ——摄像头所在处，摄像机坐标系原点； $y_c, z_c$ ——摄像机坐标系  $y$  轴和  $z$  轴； $x_c$ ——摄像机坐标系  $x$  轴，垂直纸面向内； $o_w$ ——世界坐标系原点，位于摄像头正下方； $z_w$ ——世界坐标系  $z$  轴，指向摄像头正前方； $x_w$ ——世界坐标系  $x$  轴，垂直纸面向内； $y_w$ ——世界坐标系  $y$  轴； $h$ ——摄像头到地面的垂直距离，mm； $\varphi$ ——摄像头与水平面夹角，( $^\circ$ )； $s$  平面——成像平面； $f$ —— $s$  平面到摄像头距离，焦距，mm。可推导出外参数矩阵为<sup>[15]</sup>

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi & -h \cos \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi & h \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

把农作物视为处在  $y_w=0$  平面上，由式 (2) 可得

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi & -h \cos \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi & h \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

计算可得图像点像素坐标与世界坐标关系式，如下

$$z_w = \frac{h \sin \varphi (v - v_0) + \alpha_y h \cos \varphi}{\alpha_y \sin \varphi - (v - v_0) \cos \varphi} \quad (5)$$

$$x_w = \frac{-(u - u_0)(z_w \cos \varphi + h \sin \varphi)}{\alpha_x} \quad (6)$$

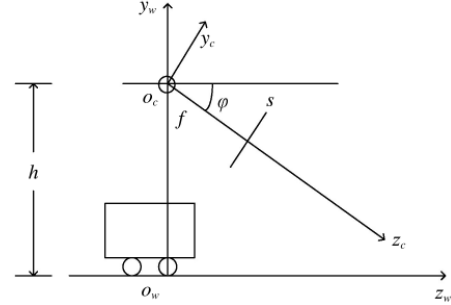


图 6 世界坐标系与摄像机坐标系

Fig.6 World and camera coordinate systems

### 2.2 非线性模型与图像畸变校正

实际中使用的摄像头都会有不同程度的畸变，所以需要采用摄像机标定的非线性模型<sup>[14]</sup>。非线性模型内部参数还包括畸变参数一阶与二阶径向畸变参数  $k_1, k_2$ ，以及切向畸变参数  $p_1, p_2$ 。一般只考虑径向畸变。简化的 Tsai 标定法的非线性模型如下

$$\begin{cases} x_u = x_d + x_d [k_1(x_d^2 + y_d^2) + k_2(x_d^2 + y_d^2)^2] \\ y_u = y_d + y_d [k_1(x_d^2 + y_d^2) + k_2(x_d^2 + y_d^2)^2] \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} u = \frac{x}{d_x} + u_0 \\ v = \frac{y}{d_y} + v_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中： $(x_d, y_d)$ ——畸变点的图像坐标，mm； $(x_u, y_u)$ ——畸变点的理想图像坐标，mm； $(d_x, d_y)$ ——像素间距，mm； $k_1, k_2$ ——一阶、二阶径向畸变参数。

只考虑一阶径向畸变，由式 (7)，(8) 可得

$$\begin{cases} u_u - u_0 = (u_d - u_0) \{ 1 + k_1 [d_x^2 (u_d - u_0)^2 + d_y^2 (v_d - v_0)^2] \} \\ v_u - v_0 = (v_d - v_0) \{ 1 + k_1 [d_x^2 (u_d - u_0)^2 + d_y^2 (v_d - v_0)^2] \} \end{cases} \quad (9)$$

式中： $(u_u, v_u)$ ——未畸变的理想点的像素坐标，pixel； $(u_d, v_d)$ ——实际的畸变点的像素坐标，pixel。

图 7 为畸变校正后的效果图。由于摄像头畸变不大，所以效果不明显。

综上，使用 Tsai 法标定出光心，像素间距，畸变参数等内参数后，根据式 (9)，可以很容易地由实际各畸变点像素坐标求解出理想成像点的像素坐标。经过畸变校正后，可认为各点成像符合线性模型。再结合式 (5) 和 (6)，即可计算出图像上各导航定位点的世界坐标。

计算出各点世界坐标后，对各点使用改进的农田多垄线识别算法，即可检测出多条垄线。

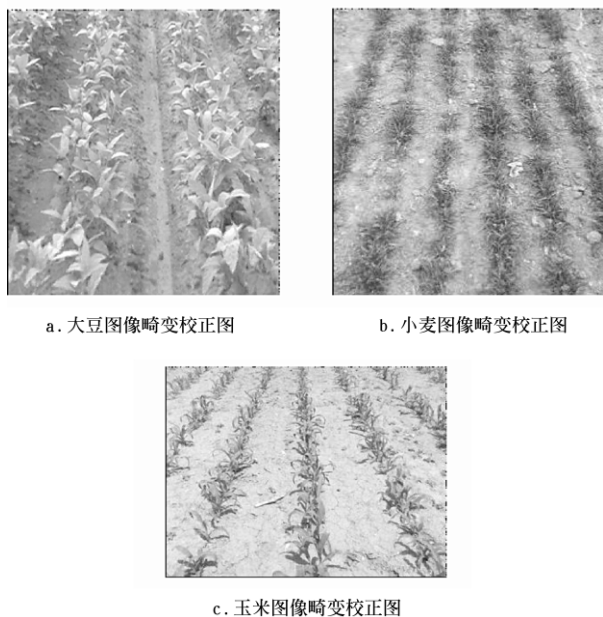


图 7 农田垄行图像的畸变校正结果  
Fig.7 Undistorted images of crop rows

### 3 基于改进的 Hough 变换的多垄线识别与定位

标准 Hough 变换采用如下参数方程表示直线<sup>[11]</sup>

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (10)$$

式中： $\rho$ ——原点到直线的垂直距离； $\theta$ ——直线的法线方向； $x, y$ ——平面直角坐标系上点的坐标。

设平面有两点  $p(x_i, y_i), q(x_j, y_j)$ 。由式 (10) 以及平面两点共线原理可知，这两点映射到  $(\rho, \theta)$  参数平面上的两条正弦曲线必会交于某点  $(\rho_0, \theta_0)$ 。如下式

$$\rho_0 = x_i \cos \theta_0 + y_i \sin \theta_0 \quad (11)$$

$$\rho_0 = x_j \cos \theta_0 + y_j \sin \theta_0 \quad (12)$$

由以上 2 式相减后变换可得

$$\theta_0 = \arctan \frac{x_i - x_j}{y_j - y_i} \quad (13)$$

计算出  $\theta_0$  后，代入式 (11)，即可求出  $\rho_0$ 。利用上述原理，对导航定位点两两之间进行计算。可计算出不同的  $(\rho_0, \theta_0)$ 。把计算所得在  $(\rho, \theta)$  参数空间内投票累加<sup>[6]</sup>。在累加器内根据设定阈值寻找累加值较大的  $(\rho, \theta)$ ，即

可检测出多条直线。但是累加器的阈值很难设定，会出现漏检测，跨垄检测出错误的垄线或是在同一垄行上重复检测出多条直线的问题<sup>[2]</sup>。

图 8、图 9 分别为使用标准 Hough 变换与上述改进 Hough 变换在像素空间检测作物行直线的结果图，变换过程中预先给定了作物行数目。可以看出，在像素空间进行直线检测，垄线识别结果如上所述出现了漏检测，误检测与重复检测的问题。

本文结合标定和垄线平行原理，采用一种新的改进算法。算法利用各垄线基本平行的特点，即各垄线的导航角相同：先找出各垄线的共同的直线参数导航角  $\theta$ ，再由导航角找出对应的导航距  $\rho$ 。

该算法具体步骤如下：

1) 根据式 (5)、(6) 计算所有导航定位点世界坐标。

2) 量化  $(\rho, \theta)$  参数空间并根据  $\rho$  和  $\theta$  取值范围在内存中开辟存储单元。其中， $\theta$  的范围为  $0^\circ \sim 180^\circ$ ，取精度为  $1^\circ$ 。 $\rho$  的最大值与最小值可根据图像上方两个端点的世界坐标计算获得。 $\rho$  的单位为毫米 (mm)，可根据实际情况如垄宽等设定精度。

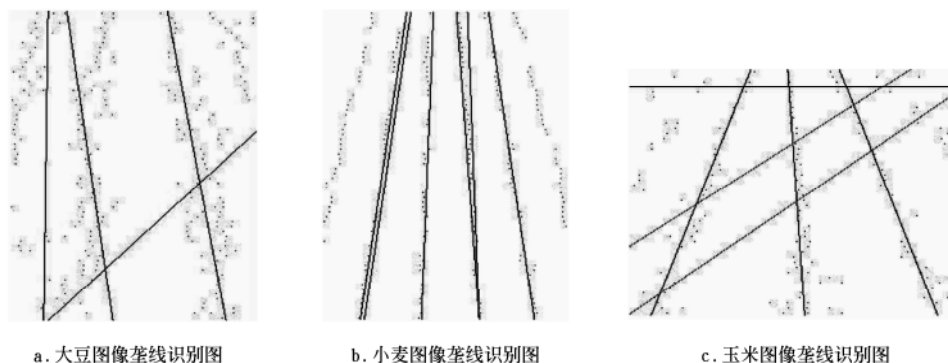
3) 在世界坐标系中，对各导航定位点进行改进的 Hough 变换：对每两个导航定位点  $(u_i, v_i), (u_j, v_j)$  的世界坐标  $(x_{wi}, z_{wi}), (x_{wj}, z_{wj})$ ，都根据式 (13)、(11) 计算出  $(\rho_{w0}, \theta_{w0})$ ，并在参数空间中投票。

4) 找到参数空间中累加值最大的  $\theta_0$  即为导航角。

5) 搜索累加器中该  $\theta_0$  所对应的各累加单元。为了防止漏检测，把投票值不为 0 的单元对应的  $\rho$  值都提取出来。为避免重复检测，可根据实际垄宽等数据，把相近的  $\rho$  值合并，认为是一条垄线。据此得到的多个  $\rho(\rho_1, \rho_2, \rho_3 \dots \rho_n)$  即为导航距离参数。

为验证正确性，在原图中画出各垄线，验证算法的准确性。如图 10。从图 10 可看出，各垄线都被准确识别出来。

综上所述，本文提出的改进算法，由于识别的各直线在世界坐标中具有共同的导航角，因此不会出现跨垄线误检测的现象；在算法的 5) 步骤把相应的导航距离参数都提取出来，因此可避免漏检测的问题；同时，通过已知的实际垄宽，把相近的导航距离参数合并，重复检测的问题也能得到较好的解决。



a. 大豆图像垄线识别图 b. 小麦图像垄线识别图 c. 玉米图像垄线识别图

图 8 农田垄行图像使用标准 Hough 变换的垄线识别图  
Fig.8 Results of crop rows detection using Standard Hough Transform

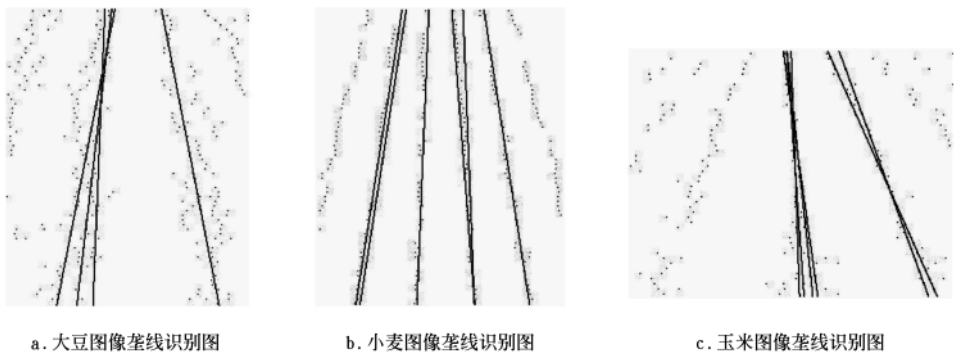


图 9 农田垄行图像使用改进 Hough 变换的垄线识别图  
Fig.9 Results of crop rows detection using the improved Hough transform

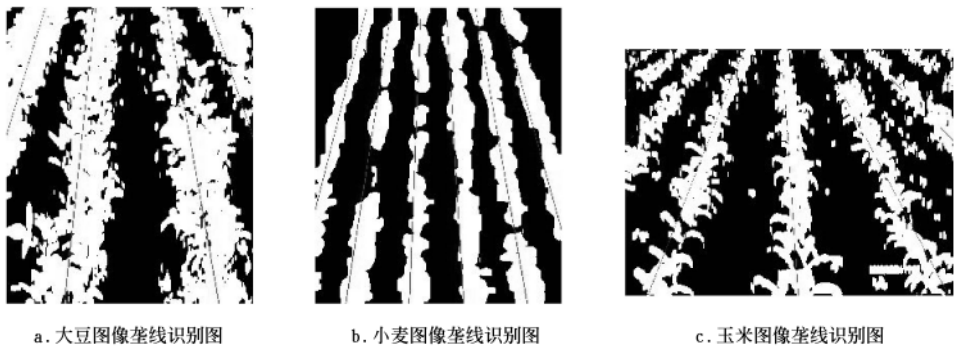


图 10 农田垄行图像采用改进算法的垄线识别结果  
Fig.10 Results of crop rows detection using the improved algorithm

4 试验与结果分析

为验证算法实时性与有效性，使用大量大豆、小麦、玉米作物的农田图像进行垄线提取试验。为提高准确度，先对图像进行畸变校正后在进行处理。算法流程为：彩

色原始图像-畸变校正-灰度化与二值化-膨胀腐蚀处理-垂直投影法提取导航定位点-识别多垄线与实时提取导航参数。本文选出了不同作物的图像各 1 幅进行说明。农田图像试验过程与结果图见前，试验数据见表 1。

表 1 农田图像试验结果

Table 1 Experimental results of the images of crop rows									
作物	各处理步骤耗时/ms						图片像素大小	垄线数目	处理时间/ms
	畸变校正	灰度化与二值化	膨胀	腐蚀	提取基准点	直线检测			
大豆	20.5	16.9	12.6	13.2	19.2	126.6	240×320	4	209.0
小麦	20.6	15.6	12.4	13.8	18.8	140.6	240×320	6	221.8
玉米	20.9	17.3	10.7	12.0	19.1	147.3	320×240	7	227.3

试验过程中垂直投影法处理时取  $h=5$ 。从试验结果可以看出,平均处理 1 幅图片的时间约为 219.4 ms。即 1 min 约处理 4 幅图片。结合实际农田导航需要,基本能满足导航实时性要求。如果令  $h=10$ ,基准点减少了,处理速度还将提高。在实际导航过程中,可根据图像大小,选择合适的  $h$  值,以提高处理速度。从结果图来看,该算法避免了漏检测与跨垄检测问题,同时,垄线重复检测问题也可根据先验知识得到解决。

之后在室内进行模拟定位试验,验证获得的垄线定位参数的准确性。用绿色纸条在实验室排成 3 行模拟垄行。一张纸条断开模拟田间断垄。图片大小为  $320\times240$ 。提取导航定位点过程中取  $h=5$ 。外参数测量值:摄像头距地面高度  $h$  为 475 mm,俯角  $\varphi$  为  $38^\circ$ 。内参数标定值:

$u_0=140, v_0=89, \alpha_x=362, \alpha_y=362, k_1=0.2014, d_x=0.0044708, d_y=0.0044708$ 。直线编号从左至右为 1, 2, 3。原始图片和结果见图 11 和表 2。

表 2 室内试验结果

Table 2 Experimental results of the image processing					
直线	参数	实测值( $r$ )	计算值( $c$ )	误差值( $ r-c $ )	处理时间/ms
直线一	$\rho/\text{mm}$	398	395	3	142
	$\theta/(^\circ)$	20	20	0	
直线二	$\rho/\text{mm}$	142	140	2	
	$\theta/(^\circ)$	20	20	0	
直线三	$\rho/\text{mm}$	-87	-85	2	
	$\theta/(^\circ)$	20	19	1	

由表 2 可知,参数  $\theta$  误差值最大为  $1^\circ$ ,  $\theta$  平均误差为

0.3°; 参数  $\rho$  最大误差值为 3 mm, 平均误差 2.33 mm。本次试验 Hough 变换累加器设定的  $\rho$  精度为 5 mm, 可认

为定位误差在允许范围。图 11 验证了该算法识别垄线的准确性。



图 11 室内试验图像处理过程

Fig.11 Processing of the experimental image in laboratory

## 5 结 论

本文根据垄线平行的特点, 结合投影变换原理, 提出了基于改进 Hough 变换的农田视觉导航多垄线的识别与定位算法, 并开发了图像处理软件。

该算法建立了农田图像成像的非线性模型, 在世界坐标系下对各导航定位点进行直线检测。在世界坐标系下, 各垄线基本平行。通过改进的 Hough 变换, 先获得各垄线的导航角, 再获得各垄线的导航距。由于先找到了各垄线的共同的导航角度参数, 因此可有效避免跨垄检测与漏检测问题。在世界坐标系下, 垄宽等先验数据也可直接使用, 同一垄线上重复检测的问题也较易通过算法改进得到解决。同时, 该算法速度也能满足农业机械导航的要求。通过不同作物的农田图像以及室内试验, 验证了该算法的有效性与实时性。

在今后的研究中, 还将进行动态实时的导航定位试验, 并在实际农田环境中进行试验研究。

### 【参 考 文 献】

- [1] 张志斌, 罗锡文, 李庆, 等. 基于良序集和垄行结构的农机视觉导航参数提取算法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 122—126.  
Zhang Zhibin, Luo Xiwen, Li Qing, et al. New algorithm for machine vision navigation of farm machine based on well-ordered set and crop row structure[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 122—126. (in Chinese with English abstract)
- [2] Tillett N D, Hague T, Marchant J A. A Robotic system for Plant-Scale Husbandry[J]. J Agric Eng Res, 1998, 69(2): 169—178.
- [3] 张志斌, 罗锡文, 周学成, 等. 基于 Hough 变换与 Fisher 准则的垄线识别算法[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(12): 2164—2168.  
Zhang Zhibin, Luo Xiwen, Zhou Xuecheng, et al. Crop rows detection based on Hough transform and fisher discriminant criterion function[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(12): 2164—2168. (in Chinese with English abstract)
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] Xu L, Oja E. Randomized Hough transform(RHT): basic mechanisms, algorithms, and computational complexities[J]. CVGIP-Image Understanding, 1993, 57(2): 131—154.
- [8] 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.
- [9] 张卫, 杜尚丰. 机器视觉对农田中基准线的识别[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(4): 75—77.  
Zhang Wei, Du Shangfeng. Machine vision recognizing position baseline in cropland[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(4): 75—77. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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 with English abstract)
- [11] 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—108.  
Hou Xuegui, Chen Yong, Guo Weibin. Machine Vision-based Navigation for a Weeding Robot[J]. Transactions of the CSAM, 2008, 39(3): 106—108. (in Chinese with English abstract)
- [12] 饶洪辉, 姬长英. 基于标记信息的 Hough 变换检测早期的作物行中心线[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 146—150.  
Rao Honghui, Ji Changying. Crop-row detection using Hough transform based on connected component labeling[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 146—150. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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.  
Yang Weimin, Li Tianshi, Jia Hongshe. Simulation and experiment of machine vision guidance of agr culture vehicles[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 160—165. (in Chinese with English abstract)

- [14] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [15] 周俊, 刘成良, 姬长英. 农用轮式移动机器人相对位姿的求解方法[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(3): 310—314. (in Chinese with English abstract)
- Zhou Jun, Liu Chengliang, Ji Changying. Pose sensing of agricultural wheeled mobile robot[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(3): 310—314. (in Chinese with English abstract)

## Crop rows detection based on parallel characteristic of crop rows using visual navigation

Chen Jiao<sup>1</sup>, Jiang Guoquan<sup>2</sup>, Du Shangfeng<sup>1\*</sup>, Ke Xing<sup>1</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** To detect and localize the crop rows quickly and effectively for navigation of agricultural machines, a new algorithm for crop rows detection is proposed in this paper. A navigation software was developed in VC++ 6.0. Crop rows were separated from soil background by image pre-processing, and the localization points were got by vertical projection. The world coordinates of each localization point were computed according to the principle of perspective transformation and the camera calibration results. With the parallel characteristic of crop rows, an improved algorithm based on Hough Transform was employed for the detection and localization of crop rows. The experiment with images of crop rows and the simulation experiment in laboratory showed that the new algorithm took 219.4 ms to process a 320×240 pixels color image, and the average errors of navigation distance and navigation angle were 2.33 mm and 0.3°. The experimental results confirmed that the algorithm was accurate, effective and fast enough to detect and localize crop rows for real-time navigation.

**Key words:** navigation, robots, image processing, machine vision, crop rows detection, Hough Transform, camera calibration