

基于机器视觉的田间杂草定位技术*

尹建军¹ 沈宝国^{1,2} 陈树人¹

(1. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013;

2. 镇江高等职业技术学校, 镇江 212003)

【摘要】 采用摄像机弱透视模型,对采集的标定靶图像进行处理,获取48个靶点质心的像素坐标,利用DLT的最小二乘法获取摄像机隐参数矩阵。室内土槽的有序杂草和无序杂草定位试验表明,利用建立的摄像机隐参数矩阵,有序杂草和无序杂草的质心定位误差分别为19.2 mm和22.8 mm,可以满足除草剂精确喷施的要求。

关键词: 杂草 定位 机器视觉 摄像机标定 精度

中图分类号: S126; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)06-0163-04

Positioning Technology of Field Weed Based on Machine Vision

Yin Jianjun¹ Shen Baoguo^{1,2} Chen Shuren¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. Zhenjiang Technical Vocational College, Zhenjiang 212003, China)

Abstract

Weak perspective model of camera was adopted. First of all, image of calibration target was captured to obtain pixel coordinates of 48 target centroids. Then hidden parameters matrix of camera was calculated by using least square based on DLT. Location tests of ordered and disordered weeds in indoor soil trough showed that positioning errors of ordered and disordered weeds were 19.2 mm and 22.8 mm respectively by using established hidden parameters matrix of camera. The positioning accuracy could meet the requirement of precise spraying of herbicide.

Key words Weed, Positioning, Machine vision, Camera calibration, Accuracy

引言

为解决田间杂草的危害和除草剂大量喷洒带来的环境污染,迫切需要研究杂草识别和智能化喷施技术,实现除草剂的精确喷施^[1]。利用机器视觉技术实现田间杂草的自动识别和定位是目前国内外研究的热点课题^[2-10]。

为了利于实时作业,研究具有合适精度要求的简便杂草定位方法,是精准控制田间杂草的需要。本文考虑到田间地形的高低起伏相对摄像机安装高度变化很小,采用摄像机弱透视模型,利用DLT(直接线性变换法)的最小二乘标定方法进行田间杂草

的定位精度分析与试验研究。

1 摄像机隐参数矩阵

1.1 隐参数矩阵

摄像机模型是光学成像几何关系的简化。针孔模型是最基本的模型,如果将物体上各点的深度用一固定的深度值近似,一般取为物体质心的深度,针孔透视就成为弱透视。考虑到相对摄像机安装高度,田间地形的高低起伏变化很小,本文采用摄像机弱透视模型。

摄像机标定需要已知一组参考点的像素坐标和对应的世界坐标,从而确定两种坐标系间存在的转

收稿日期:2009-08-12 修回日期:2009-09-30

* 镇江市农业科技计划资助项目(GJ2008008)和江苏大学高级专业人才科研启动基金资助项目(07JDG078)

作者简介:尹建军,副教授,博士,主要从事农业机器人研究,E-mail: yinjianjun@ujs.edu.cn

通讯作者:陈树人,教授,博士,主要从事精确农业研究,E-mail: srchen@ujs.edu.cn

换关系。用世界坐标系表示的 P 点坐标 (X_w, Y_w, Z_w) 与其用像素坐标系表示的 p 点坐标 (u, v) 的关系为^[11]

$$s \begin{bmatrix} u & v & 1 \end{bmatrix}^T = \mathbf{M} \begin{bmatrix} X_w & Y_w & Z_w & 1 \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

其中

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \end{bmatrix}$$

式中 s ——齐次比例系数

\mathbf{M} ——透视成像变换矩阵

矩阵 \mathbf{M} 确定了空间点坐标与其像素坐标的关系,即矩阵 \mathbf{M} 本身就代表摄像机参数,也称为摄像机隐参数矩阵^[11]。

1.2 隐参数矩阵求解

指定矩阵 \mathbf{M} 中的 $c_{34} = 1$ ^[8]。由式(1)可得

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

消去齐次系数 s 就可得

$$\begin{cases} u = (c_{11} - c_{31}u)X_w + (c_{12} - c_{32}u)Y_w + \\ \quad (c_{13} - c_{33}u)Z_w + c_{14} \\ v = (c_{21} - c_{31}v)X_w + (c_{22} - c_{32}v)Y_w + \\ \quad (c_{23} - c_{33}v)Z_w + c_{24} \end{cases} \quad (3)$$

对式(3)进一步整理,可得

$$\mathbf{AC} = \mathbf{B} \quad (4)$$

其中

$$\mathbf{A} =$$

$$\begin{bmatrix} X_w & Y_w & Z_w & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_w u & -Y_w u & -Z_w u \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_w & Y_w & Z_w & 1 & -X_w v & -Y_w v & -Z_w v \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} =$$

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix}^T$$

式(4)只有 11 个未知数,但实际方程有 12 个或者更多,可用最小二乘法进行求解。

2 图像标定试验

2.1 靶点图像获取

试验中,将世界坐标系 $OXYZ$ 的原点 O 定义在相机光心处, X 轴方向水平向右, Y 轴方向竖直向外, Z 轴垂直于标定靶向下,如图 1 所示。标定靶上靶点直径 40 mm,水平间距 80 mm,垂直间距 75 mm。根据靶点在标定靶上均匀分布的特点,就可提取所有圆控制点的世界坐标值, Z 值始终为 755 mm,即为摄像机的安装高度。

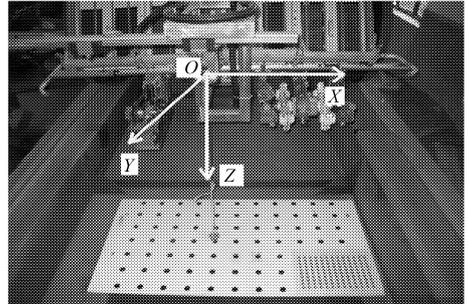


图 1 标定试验系统

Fig. 1 Calibration test system

2.2 靶点图像处理

为了便于后期的图像处理,将 RGB 彩色图像进行必要的剪切,并记录剪切图像左上角和右下角的位置,从而确定子图像在原图像的位置,如图 2 所示。将 RGB 彩色图像转换为灰度图像,并对该图像使用最大类间方差法进行图像分割,得到靶点的二值图像,如图 3 所示。

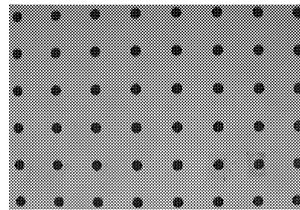


图 2 剪切图像

Fig. 2 Cutting image

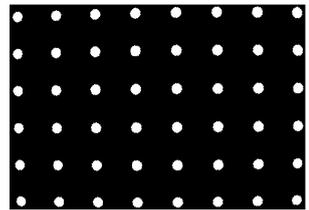


图 3 二值图像

Fig. 3 Binary image

2.3 靶点坐标提取

根据质心公式,利用整个靶点的坐标计算得到靶点在子图像中的质心坐标(图 4),再根据记录的子图像在原图像中的位置,将该坐标转换到原图像中,最后得到质心坐标如图 5 所示。

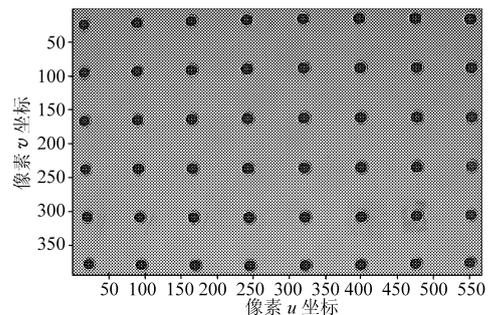


图 4 子图像靶点检测示意图

Fig. 4 Schematic diagram of target points detection in sub-image

按照上述方法,在原图像中可提取 48 个质心的像素坐标,并与其世界坐标相对应。利用最小二乘法^[8],将 48 个靶点质心的像素坐标及其对应的世界坐标代入式(4)进行迭代求解,可获取摄像机隐参数矩阵为

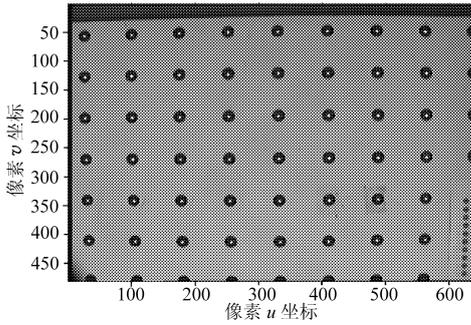


图 5 原图像靶点检测示意图

Fig.5 Schematic diagram of target points detection in original image

$$M = \begin{bmatrix} 0.9490 & 0.0210 & 0 & 332.3690 \\ -0.0184 & 0.9750 & 0 & 268.3480 \\ -3.9 \times 10^{-5} & -3.819 \times 10^{-5} & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3 定位精度获取

采用特征点的实际测量值和模型计算值之间的欧氏距离作为视觉定位精度 E , 则有

$$E = \sum_{i=1}^n \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} / n$$

$(i = 1, 2, 3, \dots, n)$

其中, 实际测量值的坐标为 (X_i, Y_i) , 模型计算值的坐标为 (x_i, y_i) 。

3.1 靶点定位精度获取

利用隐参数矩阵, 由靶点质心像素坐标, 可得靶点质心世界坐标模型计算值, 确定视觉定位精度

$$E_0 = \sum_{i=1}^{48} \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} / 48 = 1.5 \text{ mm}$$

3.2 有序杂草定位精度获取

采集田间的有序杂草图像, 并记录各个杂草分生组织处的实际测量值。对采集的有序杂草彩色图像(图 6)依次进行图像分割、边缘平滑和轮廓跟踪

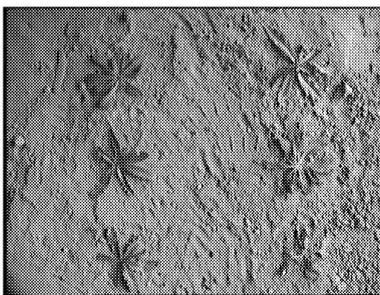


图 6 有序杂草彩色图像

Fig.6 Color image of ordered weeds

等处理, 得到各个绿色杂草区域的轮廓坐标, 并利用各个绿色杂草区域的轮廓坐标计算出其质心坐标。其中, “+”表示该杂草区域的质心位置, 如图 7 所示。

提取各个有序杂草区域质心的像素坐标, 利用

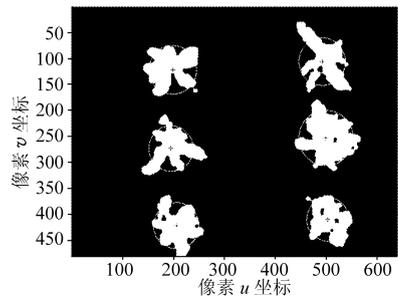


图 7 有序杂草图像的质心提取

Fig.7 Centroids coordinates extracted from image of ordered weeds

隐参数矩阵, 可得出有序杂草区域质心的世界坐标模型计算值, 如表 1 所示。

由此, 可确定有序杂草的视觉定位精度

$$E_1 = \sum_{i=1}^6 \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} / 6 = 19.2 \text{ mm}$$

表 1 有序杂草区域质心的位置信息

Tab.1 Centroids' location information of order weeds

序号	杂草区域质心的 像素坐标		杂草区域质心的 世界坐标模型 计算值/mm	杂草区域质心的 世界坐标实际 测量值/mm
	u	v		
1	195.8	273.4	(-142.8, 4.1)	(-150, 0)
2	199.2	122.1	(-137.1, -152.6)	(-150, -150)
3	206.1	421.8	(-134.1, 159.8)	(-150, 150)
4	499.9	253.0	(173.0, -14.3)	(150, 0)
5	492.4	106.0	(165.7, -164.7)	(150, -150)
6	503.7	409.9	(176.6, 148.0)	(150, 150)

3.3 无序杂草定位精度获取

采取有序杂草图像的处理方法, 对无序杂草彩色图像(图 8)进行处理得到其质心坐标, 如图 9 所示。

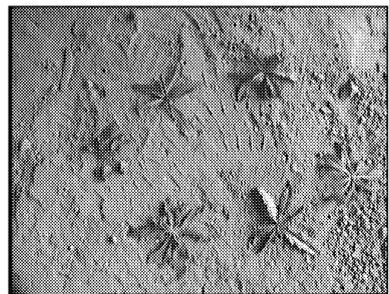


图 8 无序杂草彩色图像

Fig.8 Color image of disordered weeds

同理, 又可得出无序杂草区域质心的世界坐标模型计算值, 如表 2 所示。

由此, 可确定无序杂草的视觉定位精度

$$E_2 = \sum_{i=1}^6 \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} / 6 = 22.8 \text{ mm}$$

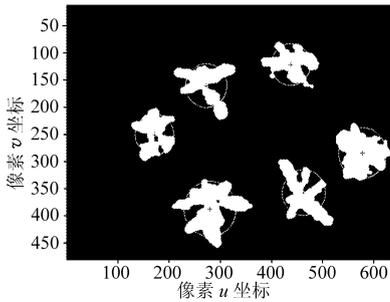


图9 无序杂草图像的质心提取

Fig.9 Centroids coordinates extracted from image of disordered weeds

表2 无序杂草区域质心的位置信息

Tab.2 Centroids' location information of disordered weeds

序号	杂草区域质心的 像素坐标		杂草区域质心的 世界坐标模型	杂草区域质心的 世界坐标实际
	u	v	计算值/mm	测量值/mm
1	172.4	250.6	(-167.0, -19.9)	(-176, -26)
2	280.9	388.1	(-54.9, 124.5)	(-64, 110)
3	273.4	160.6	(-60.2, -111.9)	(-87, -118)
4	438.5	121.7	(110.5, -149.6)	(80, -158)
5	463.9	357.6	(135.6, 93.5)	(110, 93)
6	578.7	284.7	(253.5, 18.9)	(230, 23)

3.4 定位精度分析

靶点定位精度为 1.5 mm, 完全满足田间喷施除草剂的要求。因此, 采用的摄像机标定方法是可行的。而在实际的杂草定位中, 其精度为 20 mm 左右。两者出现较大差异的主要原因是, 靶点规则且

规律分布, 实际位置获取准确, 容易获得较高的标定精度。实际应用模型时, 由于杂草叶片不规则, 外形复杂, 导致人工准确测量杂草区域的质心实际位置比较困难。杂草排列的世界坐标实际测量值以每株杂草的分生组织处近似替代其质心位置, 而杂草位置的模型计算值为该区域的质心, 致使杂草区域质心的模型计算值产生测量误差, 误差的产生与摄像机标定方法无关。有序杂草定位精度高于无序杂草定位精度的原因在于有序排列的杂草位置便于测量, 实际测量值比无序时的测量精度高。另外, 摄像机弱透视模型将物体上各点的深度用一固定的深度值近似, 但实际上地表不同程度的起伏, 各个位置的杂草在摄像机光轴方向的深度并不一致, 而模型计算时均采用摄像机安装高度为固定深度值, 这也导致计算误差。

由于除草剂从喷头喷出后按一规则形状均匀分布, 在 23 mm 的误差范围内, 除草剂同样可喷施到杂草的分生组织处, 能满足除草剂精确喷施的要求。

4 结束语

采用摄像机弱透视模型, 能够适应田间地形的高低起伏的实际变化, 利用 DLT 的最小二乘法建立的摄像机模型具有较高的测量精度, 方法简便。室内土槽的有序杂草和无序杂草定位试验表明, 利用建立的摄像机隐参数矩阵, 有序杂草和无序杂草的质心定位误差分别为 19.2 mm 和 22.8 mm, 可以满足除草剂精确喷施的要求。

参 考 文 献

- 李志刚, 傅泽田, 李丽勤. 基于机器视觉的农业植保技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 143~146.
Li Zhigang, Fu Zetian, Li Liqin. Advance in agricultural plant protection technology based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 143~146. (in Chinese)
- Zhu Weixing, Xia Libing, Xiong Feng. Research on key technique of weed locating based on binocular vision system[C]// Proceedings of 2008 International Symposium on Computer Science and Computational Technology, 2008:754~757.
- 毛罕平, 胡波, 张艳诚, 等. 机器视觉识别杂草中除草剂喷洒参数的优化[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(4):816~820.
Mao Hanping, Hu Bo, Zhang Yancheng, et al. Parameter optimization of herbicide spraying in weed identification with machine vision[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(4):816~820. (in Chinese)
- Fontaine V, Crowe T G. Development of line-detection algorithms for local positioning in densely seeded crops[J]. Canadian Biosystems Engineering, 2006, 48:7.19~7.29.
- 陈勇, 田磊, 郑加强. 基于直接施药方法的除草机器人[J]. 农业机械学报, 2005, 36(10): 91~93, 129.
Chen Yong, Tian Lei, Zheng Jiaqiang. Development of weeding robot based on direct herbicide application method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(10): 91~93, 129. (in Chinese)
- Brian L S, Tian F L, Tang L. Distance-based control system for machine vision-based selective spraying[J]. Trans. of the ASAE, 2002, 45(5): 1255~1262.
- Tian F L. Sensor-based precision chemical application system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36(2~3): 133~149.

(3)单纯用 R^2 值来表征回归方程的近似精度是不合适的, R^2 值接近 1 只是回归模型具有良好近似精度的必要条件, 回归方程的近似精度需在试验设计样本之外另取检测样本来评估。

参 考 文 献

- 1 戴磊, 关振群, 单菊林, 等. 机床结构三维参数化形状优化设计[J]. 机械工程学报, 2008, 44(5): 152 ~ 159.
Dai Lei, Guan Zhenqun, Shan Julin, et al. 3D parameterized shape optimization design for machine tool mechanism[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(5): 152 ~ 159. (in Chinese)
- 2 赵茂俞, 薛克敏, 李萍. 多元非线性回归的铝合金覆盖件成形模拟优化设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 166 ~ 169.
Zhao Maoyu, Xue Kemin, Li Ping. Numerical simulation and optimization of aluminum alloy auto panel forming by multivariate nonlinear regressing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 166 ~ 169. (in Chinese)
- 3 张维刚, 廖兴涛, 钟志华. 基于逐步回归模型的汽车碰撞安全性多目标优化[J]. 机械工程学报, 2007, 43(8): 142 ~ 147.
Zhang Weigang, Liao Xingtao, Zhong Zhihua. Multi-objective optimization for crash safety design of vehicles using stepwise regression model[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(8): 142 ~ 147. (in Chinese)
- 4 项忠霞, 卜研, 张玉环, 等. 一种基于振动舒适性的山地自行车后悬架参数设计方法[J]. 天津大学学报, 2008, 41(6): 685 ~ 689.
Xiang Zhongxia, Bu Yan, Zhang Yuhuan, et al. Vibrant comfort-based parameterization for mountain bike rear suspension[J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(6): 685 ~ 689. (in Chinese)
- 5 陈伟, 何飞, 温卫东. 基于结构参数化的有限元分析方法[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(6): 948 ~ 950.
Chen Wei, He Fei, Wen Weidong. Finite element analysis based on structural parametric design and its application[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2003, 22(6): 948 ~ 950. (in Chinese)
- 6 吴芝亮. 质子交换膜燃料电池接触电阻数学建模与参数分析[D]. 天津: 天津大学, 2008.
Wu Zhiliang. Modeling and parametric study of electrical contact resistance in PEM fuel cells [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008. (in Chinese)
- 7 何晓群. 实用回归分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- 8 Bais R S, Gupta A K, Nakra B C. Studies in design of drilling machine using updated finite element models[J]. Mechanism and Machine Theory, 2004, 39(12): 1 307 ~ 1 320.

(上接第 166 页)

- 8 陈树人, 沈宝国, 毛罕平, 等. 基于颜色特征的棉田中铁苋菜识别技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 149 ~ 152.
Chen Shuren, Shen Baoguo, Mao Hanping, et al. Copperleaf herb detection from cotton field based on color feature[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 149 ~ 152. (in Chinese)
- 9 吴兰兰, 刘剑英, 文友先, 等. 基于支持向量机的玉米田间杂草识别方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 162 ~ 166.
Wu Lanlan, Liu Jianying, Wen Youxian, et al. Weed identification method based on SVM in the corn field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 162 ~ 166. (in Chinese)
- 10 沈宝国. 基于颜色特征的棉田杂草识别方法与定位技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
Shen Baoguo. Research on recognition method of weeds in cotton fields based on color feature and localization technology of weeds[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese)
- 11 Shapiro L G, Stockman G C. 计算机视觉[M]. 赵清杰, 钱芳, 蔡利栋, 译. 北京: 机械工业出版社, 2005.