

基于机器视觉的农田机械导航线提取算法研究

刁智华, 王会丹, 宋寅卯

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 郑州 450002)

摘 要: 随着科学技术的发展,精细农业已成为现代农业发展的主导方向。农业机械的自动导航技术是精细农业的关键技术之一,也是实施精准农业的基础。机器视觉由于其广泛实用性,已成为农田机械导航线提取的重要方法。目前,机器视觉自动导航线提取易受自然环境干扰,且在实时处理速度上有待提高。为此,研究了一种导航线提取算法,旨在简化图像处理,提高通用性。首先对 CCD 获取的彩色农田图像,使用改进的过绿色算法进行灰度化,得到目标区分较好的图像;然后使用改进的 OTSU 算法对图像进行分割,得到二值图像,再采用滤波、腐蚀、膨胀相结合的算法去除图像噪声;最后提取作物行骨架,拟合作物行直线并进行方向校正,计算相机偏差,为实时校正航向提供反馈信息。试验结果表明,该算法处理一幅图像所用时间在 200ms 左右,可满足农田机械实时导航的要求。

关键词: 农田机械; 导航; 机器视觉; 作物行提取

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2015)02-0035-05

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2015.02.010

0 引言

精细农业具有资源消耗少、环境污染小等优点,已成为农业现代化、信息化的一个趋势。自动导航是精细农业的关键技术,常用的自动导航技术有 GPS、多传感器融合及机器视觉等。机器视觉由于其在价格、抗干扰性等方面的优势,成为近年来导航技术研究的热点。国内外专家学者就农田机械导航技术进行深入研究。欧美国家起步较早,瑞典专家 Björn Asstrand 等提出的基于 Hough 变换的强鲁棒性作物行识别的导航算法,通过融合多垄信息有效克服杂草噪声影响,但是只能处理规则平直的作物行。比利时学者 V. Leemans 等比较了基于机器视觉的两种不同导航算法:第 1 个实验中用 Hough 变换结合递归滤波器获得了较好的结果;第 2 个实验中,获取的图像包括一些并列的行,考虑到行距等先验知识,提出一种改进的 Hough 变换算法,其检测种子行的真实性和精确度都更优。国内学者近年来也取得了显著的研究成果。中国农业大学的李茗萱、张漫等人针对基于机器视觉

的自动导航系统现有导航线提取算法易受外界环境干扰和处理速度较慢等问题,提出一种基于图像扫描滤波的导航线提取方法。该方法是在传统多种图像处理算法的基础上结合图像扫描滤波的方法来提高导航线提取算法的速度和适应性。内蒙古大学的张志斌等提出一种基于平均垄间距的视觉导航垄线识别算法,对经过灰度二值化处理的图像进行基于垄间距一致性特点提取行,基于垄列向的连续性提取列。单垄和多垄沟图像的处理实验证明了其算法的实时性和准确性。

由于农田环境的非结构化特性,目前的农田视觉导航系统还不够成熟,许多理论上可行的方案在应用于大田环境时适应性和精度都不是十分理想。无序以及不规则杂草、光照强度等的影响使得实时导航难度更大。为此,本文提出了一种基于机器视觉的快速高效作物行提取算法,从而为农田机械提供可靠的导航线。

1 图像采集设备和系统标定原理

1.1 图像采集设备及材料

本研究采用的图像采集设备为陕西维视图像的 MV-VD030SC 型号的工业相机和 AFT-0814MP 镜头,采集图像大小为 640×480 像素,可设置图像为彩色和灰度多种模式。用于图像处理的计算机为 Intel (R) Core (TM) i3,主频 3.1GHZ,内存为 2G;用 Microsoft Visual C++ 6.0 进行算法研究和优化。

收稿日期: 2014-02-26

基金项目: 国家农业智能装备工程技术研究中心开放基金项目 (KFZN2012W12-012); 河南省科技厅重点科技攻关项目 (132102110150); 郑州市科技局项目 (131PPTGG411-13); 郑州轻工业学院校内骨干教师计划项目 (2013)

作者简介: 刁智华 (1982-),男,河南夏邑人,副教授,博士,(E-mail) diaozhua@163.com。

通讯作者: 王会丹 (1987-),女,河南洛阳人,硕士研究生,(E-mail) wanghuidan0@126.com。

1.2 机器视觉系统的标定

机器视觉技术作为一门综合性技术,主要是通过摄像机将世界坐标系中的事物转换到图像坐标中,通过标定明确它们的位置关系,再通过对图像的适当处理得到需要的信息并反馈到对世界坐标中物体的处理方法中。摄像机标定中常用坐标系如图 1 所示。

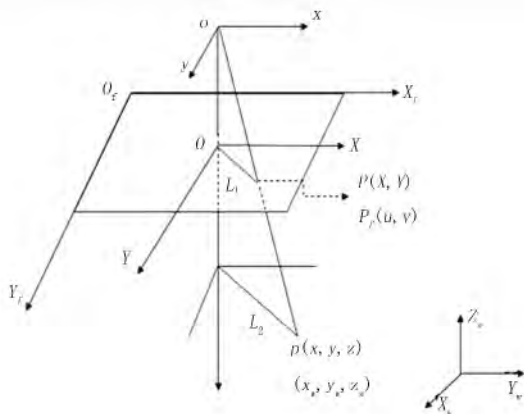


图 1 摄像机标定中常用坐标系

机器视觉中包括世界坐标系 (X_w, Y_w, Z_w) 、摄像机坐标系 (xoy) 和图像坐标系 (图像物理坐标系 X, Y 轴分别平行于摄像机坐标系的 x 和 y 轴,图像像素坐标系原点在图像左上角, X_f, Y_f 平行于物理坐标系,以像素为单位)。

1) 世界坐标与摄像机坐标之间的转换关系为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ 0^T \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 图像坐标系与摄像机坐标系之间变换关系为

$$\begin{cases} X = f_x/z \\ Y = f_y/z \end{cases} \quad (2)$$

3) 将式(2)物理坐标系转换为图像坐标系,则有

$$\begin{cases} u - u_0 = X/d_x = s_x X \\ v - v_0 = Y/d_y = s_y Y \end{cases} \quad (3)$$

其中 u_0, v_0 是图像中心坐标; d_x, d_y 分别是像素在 X, Y 方向上的物理尺寸; $s_x = 1/d_x, s_y = 1/d_y$ 分别为 X 与 Y 方向上的采样频率,即单位长度像素。

因此,可得物点 p 与图像像素坐标中点 p_i 的变换关系为

$$\begin{cases} u - u_0 = f s_x x / z = f_x x / z \\ v - v_0 = f s_y y / z = f_y y / z \end{cases} \quad (4)$$

其中 $f_x = f s_x$ 和 $f_y = f s_y$ 分别定义为 X 和 Y 方向的等效焦距。 f_x, f_y, u_0, v_0 是只与摄像机内部结构有关的内部参数。

4) 最后可得世界坐标与图像坐标的变化关系为

$$\begin{cases} \frac{X}{f} = \frac{u - u_0}{f_x} = \frac{r_{11}x_w + r_{12}y_w + r_{13}z_w + t_x}{r_{31}x_w + r_{32}y_w + r_{33}z_w + t_z} \\ \frac{Y}{f} = \frac{v - v_0}{f_y} = \frac{r_{21}x_w + r_{22}y_w + r_{23}z_w + t_y}{r_{31}x_w + r_{32}y_w + r_{33}z_w + t_z} \end{cases} \quad (5)$$

2 图像的处理和导航线的提取

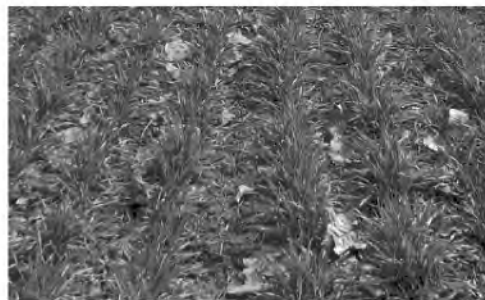
2.1 算法原理

农田行栽作物多呈现出明显的垄沟现象,绿色农作物与土壤背景有较明显的差异。基于颜色特征的目标提取算法能有效利用彩色图像有效信息,采用过绿色算法可以在初步区分目标和背景图像的同时简化图像数据量,有利于进一步处理。对于灰度图像,基于灰度值特征进行二值化处理,更加清晰地提取作物行信息;然后通过一系列形态学算法从二值图像中提取出真正有效作物行导航线,并对导航线进行矫正;最后,把可靠的导航信息反馈给机械系统,真正实现实时导航的目的。

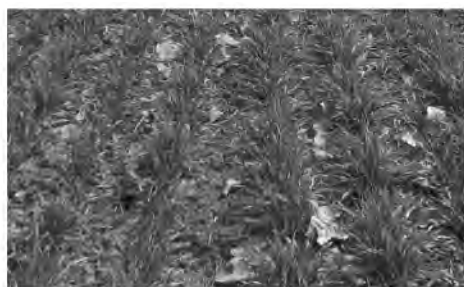
2.2 图像处理和导航线提取

2.2.1 灰度化

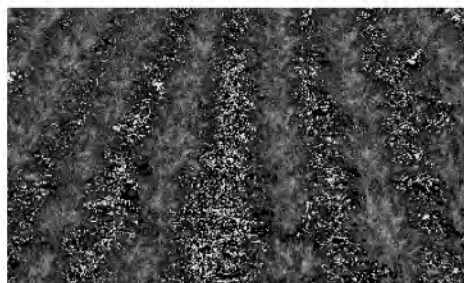
相对于灰度图像,彩色图像包含更多有用信息,本文采集图像为 256 色 RGB 麦田图像如图 2(a) 所示。为了增加后期图像处理速度,首先将其灰度化,但是要充分提取作物行信息。从图 2(a) 中可以看出,小麦行与田地之间有明显的区分,作物行的绿色特征非常明显,而土壤呈红褐色。图 2(b) 为普通的灰度化处理,显然效果不理想,原图中清晰的作物行变得模糊,所以不可取。考虑到作物和田地的颜色特征采用经典的超绿算法对其进行灰度化,如图 2(c) 所示。尽管处理结果能较清晰地区分目标和背景,但效果不是最优的。经过实验分析,考虑色彩空间的 R、G、B 分量组成情况,本文采用改进的超绿因子 $(1.8G - R - 0.8B)$ 对彩色图像进行灰度化。实验证明,其效果明显好于普通的灰度化算法,较好的区分度和较少的噪声为后续处理提供很大优势。



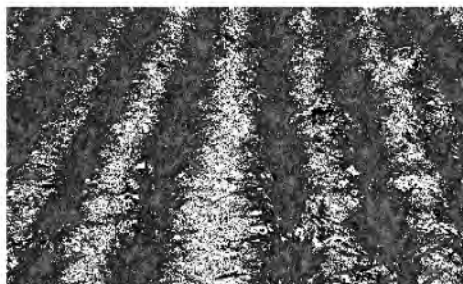
(a) 麦田原图



(b) 普通的灰度化图像



(c) 超绿灰度图

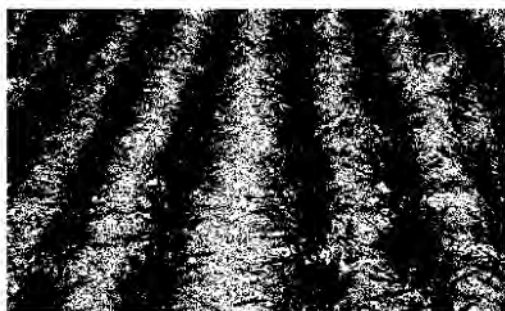


(d) 本文灰度图像

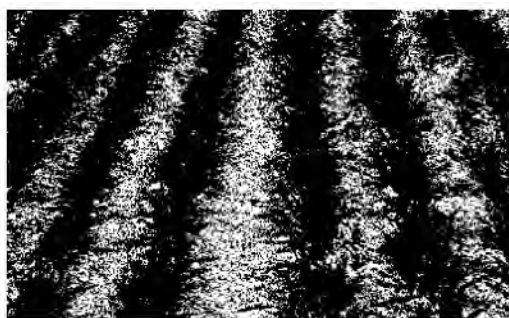
图 2 麦田处理图像

2.2.2 图像分割

Otsu 是经典的图像分割算法,计算简单,不受图像亮度等信息干扰,自动化程度较高。阈值法也是常用的图像分割方法,计算简单,速度更快。由于前期灰度化效果比较好,本文中两种方法处理效果相当。图 3(a)和图 3(b)分别为 Otsu 算法和阈值法对灰度图像的二值化结果,它们均能清晰地将目标和背景区分开来,并且受噪声影响都很小。但是,在处理速度方面,采用阈值法明显优于 Otsu 算法,因此本文采用阈值 205 灰度化算法。



(a) otsu法二值化



(b) 阈值法二值化

图 3 二值化算法

2.2.3 导航线提取

从图 3(b)处理结果可以看出明显的作物行形态特征。由于农作物的非结构化特性,行间仍有许多小噪声,作物行上也有少许小孔噪声。但是这些噪声相对于作物行面积较小,可以采用形态学算法滤除。为了不改变和消除作物行有用信息,形态学处理所用模板一定要合适。本文采用 3×3 正方形模板对二值化图像进行操作,通过实验确定了腐蚀、膨胀以及开闭运算的结构、运算顺序及运算次数(见图 4(a)),得到了连续且无噪声的作物行目标。导航线提取只需要线性信息,形态学处理的结果仍含有加多冗余信息。为了实现导航的快速性和准确性,对图 4(a)进一步进行细化操作,结果如图 4(b)所示。

在田间导航研究中,有许多研究者提取了所有作物行信息。本文在考虑导航信息量和准确性的前提下,提取最重要的中间两行作物作为导航参照,因为相机安装于作业机械的中间部位,正常行走所拍摄的图像也是对称的。如果出现偏差,中间两行作物的位置会有更明显的变化。主作物行提取结果如图 4(c)所示。在此对作物行进行直线拟合,基于主作物行本文采用改进的 Hough 变换算法。其中,Hough 变换参数 θ 空间的范围不再采用 $0^\circ \sim 180^\circ$,而是采用缩小的计算范围 $45^\circ \sim 135^\circ$,减小了其计算量,但却保证了精度,如图 4(d)所示。由于摄像机拍摄是有一定倾角的,所以农田中平行作物行在图像中会有一定倾斜,对其进行矫正如图 4(e)所示。



(a) 形态学处理

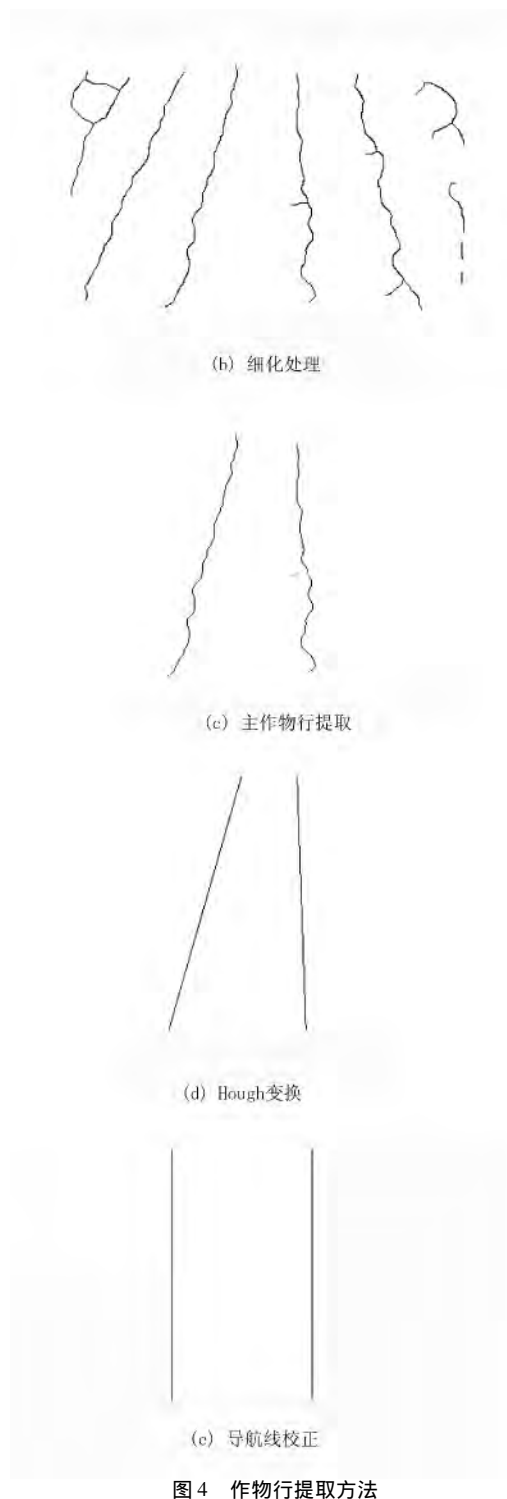


图4 作物行提取方法

2.3 导航信息反馈和航线的提取

摄像头安装时应尽量处于两目标行的中间位置,正常无偏行驶理论上图像中心应该即是两导航线中心。对于校正后的导航线,通过两导航线的中心纵坐标与图像中心纵坐标的差值计算可以确定其偏差幅度。导航线的偏差是在图像坐标中以像素为单位计算的,通过3个坐标系之间的对应关系,可以把像素偏差转换到世界坐标系中的真实距离偏差,从而为机械导航方向矫正提供信息。

3 试验和分析

用本文算法分别对菠菜和蒜苗图像进行处理,结果如图5所示。



图5 蒜苗及菠菜图像处理

由于试验中对文中算法进行综合打包处理,快速提取导航线,中间过程不再详述。菠菜和蒜苗各30幅

图像处理平均结果如表 1 所示。

表 1 图像处理时间和精度

作物	算法时间 /ms	偏差/像素
小麦	123	-16
蒜苗	179	5
菠菜	213	-8

4 结语

1) 本文所用的灰度化方法能在一定程度上克服阴影、杂草等噪声影响,明确地提取田间作物行,为后续处理提供很好的基础。

2) 采用提取主作物行的方法,在不影响导航信息提取的情况下,减少了计算量,提高了算法速度;同时也使 Hough 变换更易优化,速度更快。

3) 对 Hough 变换进行改进,针对主作物行信息对参数空间 ρ 、 θ 取值范围进行界定,参数空间中的峰值检测只用寻找两个最大值。同时,也能克服断垄等因素的影响。

4) 在一些特殊情况下(如杂草过多、天气恶劣时),算法不能很好地提取作物行信息。目前的研究还停留在导航线的提取方面,真正的导航系统还没有实现,后续研究要提高算法的自动化程度和反馈实现能力。

参考文献:

- [1] Bjorn Astrand, Albert-Jan Baerveldt. A vision based row-following system for agricultural field machinery [J]. Mechatronics, 2005, 15: 251-269.
- [2] Haibo Jiang, Yilong Xiao, Yunwei Zhang, et al. Curve path detection of unstructured roads for the outdoor robot navigation [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 58: 536-544.
- [3] 张志斌, 罗锡文, 臧英. 基于颜色特征的绿色作物图像分割算法 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 183-189.
- [4] 李茗萱, 张漫, 孟庆宽. 基于扫描滤波的农机具视觉导航基准线快速检测方法 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 41-47.
- [5] N. Nirmal Singh, Avishek Chatterjee, Amitava Chatterjee, et al. A two-layered subgoal based mobile robot navigation al-

gorithm with vision system and IR sensors [J]. Measurement, 2011, 44: 620-641.

- [6] Antonio Reina, Javier Gonzalez. A two-stage mobile robot localization method by overlapping segment-based maps [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2000, 31: 213-225.
- [7] 张志斌, 罗锡文, 李庆. 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.
- [8] 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.
- [9] 陈娇, 姜国权, 杜尚丰. 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.
- [10] 姜国权, 柯杏, 杜尚丰. 基于机器视觉和随机方法的作物行提取算法 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 85-88.
- [11] V. Leemans, M. -F. Destain. Application of the Hough Transform for Seed Row Localisation using Machine Vision [J]. Biosystems Engineering, 2006, 94(3): 325-336.
- [12] 张志斌, 潘华稳, 李琛. 一种基于平均垄间距的视觉导航垄线识别算法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(22): 191-194.
- [13] 李景彬, 陈兵旗, 刘阳. 采棉机视觉导航路线图像检测方法 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(11): 11-19.
- [14] 李进, 陈杰平, 徐朝胜. 基于动态图像阈值的智能车辆路径导航 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 39-44.
- [15] 许国瑞, 崔天时, 李晓莉. 农业机器人行走方向识别及仿真 [J]. 农机化研究, 2013, 35(2): 181-184.
- [16] 张方明, 应义斌. 机器视觉在农业车辆导航系统中的研究进展 [J]. 农业机械学报, 2005, 36(5): 133-136.
- [17] 安秋, 李志臣, 姬长英. 基于光照无关图的农业机器人视觉导航算法 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 208-212.
- [18] 胡炼, 罗锡文, 曾山. 基于机器视觉的株间机械除草装置的作物识别与定位方法 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 12-18.
- [19] 周俊, 刘成良, 姬长英. 农业机器人视觉导航的预测跟踪控制方法研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 106-110.
- [20] 李明, Kenji Imou, 刘仲华. 农业机械全方位视觉定位系统的定位算法 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 52-59.

(下转第 45 页)

3 kinds of gray scale images for plants ,sky and soil ,and then threshold method and K – clustering method are analysed and compared to obtain image segmentation. Finally ,the plants and different soil moisture achieved further classification using fuzzy clustering method. The experimental results show that the average identification rate of plants is 92.5% ,and the average identification rate of three types of soil is 95.6% based on K mean histogram method. Therefore ,it can be applied to segment and identify different types of plants and soil accurately ,and provides a foundation for the identification of farmland objects.

Key words: image analysis; image graying; image filtering; image segmentation; fuzzy clustering; form land

(上接第 34 页)

- | | |
|---|--|
| [5] 王水生. 椰子壳纤维的处理工艺及应用[J]. 丝绸,1999 (12):55. | [8] 张旭飞,张燕,梁栋. 基于 PLC 的椰子切割机的设计与控制研究[J]. 农机化研究,2012,34(3):199-202. |
| [6] 余来普. 纤维的洗涤与软化[J]. 精细化工信息,1986 (1):20. | [9] 肖仁鹏,马鑫,刘四新,等. 椰子自动剥衣机的设计[J]. 食品与机械,2012(1):142-143. |
| [7] 唐龙祥,刘立云,冯美利. 世界椰子业发展状况分析[J]. 世界热带农业信息,2005(10):1. | [10] 杨重庆. 椰子渣膳食纤维的制取及其应用[J]. 食品科技,1997(3):37-38. |

Abstract ID:1003-188X(2015)02-0032-EA

Design of Coir Fiber Separator

Chu Chengzhong, Zhang Yan, Fan Junqing, Feng Shanseng, Zhou Bin

(School of Mechanics and Electrics Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Based on the traditional chemical and artificial separation of coir fiber is low production efficiency, serious pollution, high fiber damage rate, labor intensive and so on, designed the coir fiber in a higher degree of automation of the separation machinery. The machinery has high production efficiency, simple structure, strong practicability, The develop of coconut coir separation machinery not only fills the empty of machinery separation of coconut coir, but also plays a great role in promoting the scale of the coconut industry.

Key words: coconut shell; fiber separation; machinery

(上接第 39 页)

Abstract ID:1003-188X(2015)02-0035-EA

Research of Farm Machinery Navigation Algorithm Based on Machine Vision

Diao Zhihua, Wang Huidan, Song Yinmao

(Zhengzhou university of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: With the development of science and technology, precision agriculture has become the dominant direction of modern agriculture development. Agricultural machinery automatic navigation technology is one of the key technology of precision agriculture, it's the basis for the implementation of precision agriculture. Machine vision has become an important method to farm machinery navigation line extraction due to its wide practicability. Now, a lot of machine vision automatic navigation line extraction algorithms are susceptible to interference, the real-time processing speed needs to be improved. This article mainly is to simplify the image processing algorithm and improve its generality. Firstly, the color images captured by CCD are grizzled with the improved algorithm, the target is distinguished well. Then the improved OTSU algorithm is used to get the binary image. Combine filtering, corrosion and expansion algorithm to remove the noise. Then the skeleton of crop line is extracted, the straight crop line is fitted to adjust the direction, the camera deviation is calculated to provide feedback information for the real-time correction. Experimental results show that the proposed algorithm use around 200ms every image, it can satisfy the requirement of real-time navigation.

Key words: agricultural machinery; navigation; machine vision; crop line extraction