

# 免耕覆盖地秸秆行茬导航路径的图像检测<sup>\*</sup>

王晓燕 陈媛 陈兵旗 李洪文 孙浩

(中国农业大学工学院,北京 100083)

**【摘要】** 提出了秸秆行茬视觉导航方法,引导农机具在根茬行间作业以防止堵塞,并对玉米直立根茬导航路径的检测方法进行了研究。选取了图像的彩度信息作为研究对象,通过多种自动阈值选取方法的对比试验和分析,采用迭代法对根茬图像与土壤背景进行了有效分割,并采用2次腐蚀处理去除噪声,通过膨胀处理填充目标区域孔洞;使用了过已知点的 Hough 变换检测出玉米直立根茬行间及行茬直线。田间试验表明,该方法能够有效地提取出秸秆行茬导航路径,计算时间不超过 0.1 s。

**关键词:** 保护性耕作 农业机械 自动导航 机器视觉 图像分割 路径识别

**中图分类号:** TP242.6<sup>+</sup>2; S223.2<sup>+</sup>6

**文献标识码:** A

## Detection of Stubble Row and Inter-row Line for Computer Vision Guidance in No-till Field

Wang Xiaoyan Chen Yuan Chen Bingqi Li Hongwen Sun Hao

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

The residue blockage to the soil engaging parts is one of the key problems affecting the performances of no-till planter and other machine working in conservation tillage farming. Visual guidance system was studied to guide the machine working in between the stubble rows thus to solve the blockage problem in standing stubble conditions. The maize stubble rows were detected by image processing and the saturation of the field image was selected to segment the dry stubble and soil surface background. By comparing different methods of determining threshold, the iterative method was proved to be the most effective to segment the image automatically. The improved Hough transform was used to detect the inter-row line and the stubble row line to guide the machine. The experiments with large number of field images showed that the algorithm proposed can obtain the target navigation path rapidly within 0.1 s and accurately for most conditions of standing stubble covered field.

**Key words** Conservation tillage, Agricultural machinery, Automatic guidance, Computer vision, Image segmentation, Path recognition

### 引言

在免耕留茬覆盖条件下,机具作业时的堵塞问题是保护性耕作技术在应用过程中遇到的主要难题之一。特别是前茬作物为玉米时,由于根茬比较粗大,通常会堵塞机具,对后茬作物的播种及其他作业造成严重影响。李洪文等提出了对行作业的思路,

使机具避开根茬,沿着行茬之间作业,降低机具堵塞的可能性<sup>[1]</sup>。

在避茬防堵作业中,自动识别根茬目标成为对行作业的关键。触杆式秸秆导向系统<sup>[2-3]</sup>在实际应用过程中存在反应速度慢、当秸秆缺失容易造成导航信号不稳定等问题,从而影响其准确性及实时性。

收稿日期:2008-10-16 修回日期:2009-01-12

<sup>\*</sup>农业部948重大专项(2006-G58)

作者简介:王晓燕,副教授,博士,主要从事保护性耕作技术与机具、固定道作业技术与机具等研究,E-mail:xywang@cau.edu.cn

通讯作者:李洪文,教授,博士生导师,主要从事保护性耕作技术与机具研究,E-mail:lhwen@cau.edu.cn

农业机械视觉导航在进行路线识别时,通常识别的对象是农作物行或者是垄等区域的边界<sup>[4]</sup>。目前,国内外大多数研究都是针对农作物,这是由于绿色作物与土壤存在着较大的颜色差异,易于识别检测<sup>[5]</sup>。在保护性耕作留茬覆盖条件下,由于田间玉米根茬与土壤的颜色非常相近,且田间情况比较复杂,利用传统的方法难以可靠、稳定地识别出导航路径。但通过检测与土壤色调相近的种沟线或犁沟线可以识别导航路径<sup>[6-7]</sup>。本文尝试应用机器视觉导航实现对行作业,并研究以玉米直立根茬作为导航路径的图像识别方法和直线检测方法。

## 1 试验方法

### 1.1 田间图像特征分析

在保护性耕作留茬覆盖条件下,玉米根茬目标与土壤背景的颜色非常相近,且根茬行间有一些落地枯叶等杂物,如图 1a 所示。田间彩色图像中水平线剖面的红(R)、绿(G)、蓝(B)颜色分量值如图 1b 所示,根茬目标与土壤背景 R、G、B 各分量之间不存在明显的规律,难以利用这 3 个分量的灰度信息或者分量间的线性组合对图像进行分割。

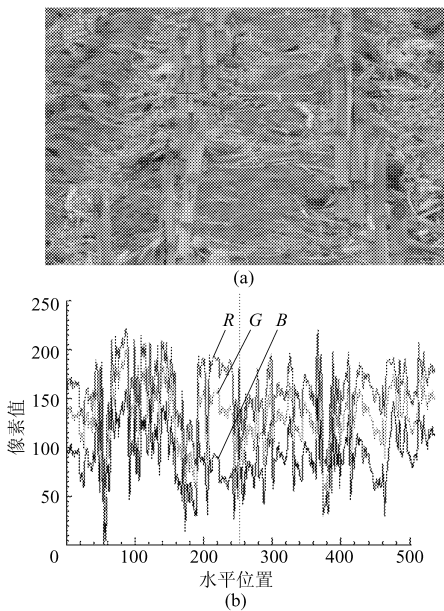


图1 农田图像与水平线剖面颜色信息

Fig.1 Color information of the field image

(a) 玉米根茬图像 (b) 水平线剖面颜色信息

颜色也可以由以下 3 个特性表示:色调  $H$  表示颜色的种类,彩度  $S$  表示颜色的深浅,亮度  $Y$  表示明暗。将  $R$ 、 $G$ 、 $B$  信号变换为亮度信号  $Y$  和色差信号  $C_1$ 、 $C_2$ <sup>[8]</sup>,即

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

$$C_1 = R - Y = 0.7R - 0.59G - 0.11B \quad (2)$$

$$C_2 = B - Y = -0.3R - 0.59G - 0.89B \quad (3)$$

色调  $H$  与彩度  $S$  可以由上述色差信号得出

$$H = \arctan(C_1/C_2) \quad (4)$$

$$S = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \quad (5)$$

对图像中每个像素进行以上处理,将  $H$ 、 $S$  的数据分别映射到图像数据范围的 0~255 区域,生成色调灰度图像和彩度灰度图像。在彩度灰度图像中,根茬与土壤的差别较大,可以进行图像分割。

### 1.2 田间图像分割方法

阈值法是一种传统的图像分割方法。由于田间图像比较复杂,为了使分割更加鲁棒、适用性更强,系统应该可以自动选择阈值<sup>[9]</sup>。常用的自动阈值选取算法包括双峰法、类间方差法、迭代法和自适应法。试验分析发现,田间图像的彩度灰度图像不呈现明显的双峰特征,因此无法采用双峰法进行分割。

图 2a 中的图像为彩度灰度图像,图 2b、2c、2d 分别为最大类间方差法<sup>[10]</sup>、迭代法<sup>[11]</sup>和自适应法对图像的分割结果。分割后的图像中仍然会存在少量噪声,由于行间杂物的影响,图像中行间背景区域出现目标点;由于根茬目标行具有不规则性,目标区域会存在较大的孔洞和突刺。通常可用中值滤波去除图像中孤立的噪声,但其运行速度慢,不能满足实时性要求。本研究中采用了形态学滤波方法,采用两次腐蚀处理去除噪声及行间较大的目标点,再通过膨胀处理填充目标区域孔洞,使目标区域连通。

由大量图像试验结果可知,迭代法选取的阈值能区分出图像的根茬目标和背景的主要区域所在,可获取较好的分割结果,其平均处理时间不超过 0.025 s,可满足实时处理要求<sup>[12]</sup>。

### 1.3 直线检测

在图像分割的基础上,进一步进行导航直线的检测。常用的直线检测方法包括最小二乘法 and 哈夫变换(Hough transform)两种<sup>[7]</sup>。当目标区域存在干扰点或噪声,用最小二乘法拟合直线时,需要处理的数据量大,拟合误差也较大。通常采用 Hough 变换进行直线检测,传统的 Hough 变换是一种穷尽式搜索,计算量大、空间复杂度高。

本文使用过已知点的改进 Hough 变换方法<sup>[13-14]</sup>。首先将目标图像二值化,设定一个属于直线上的点,将其作为已知点  $p_0$ ,定义其坐标为  $(x_0, y_0)$ 。设过  $p_0$  点的直线斜率为  $k$ ,然后通过一定的算法寻找一系列的候选点  $p_i$ ,设其坐标为  $(x_i, y_i)$  ( $0 \leq i < n$ ,  $n$  为候选点总数),则  $p_i$  与  $p_0$  点之间连线的斜率  $k_i$  可表示为

$$k_i = (y_i - y_0)/(x_i - x_0) \quad (6)$$

由于所检测直线可能出现接近垂直的情况,当



图2 田间图像分割结果

Fig.2 Segmentation results of field images

(a) 彩图图像 (b) 最大类间方差法 (c) 迭代法 (d) 自适应法

$x_i = x_0$  时,  $k_i$  为无穷大。因此, 当  $x_i = x_0$ , 令  $k_i = 2$ , 当  $k_i > 1$  或者  $k_i < -1$  时, 用  $k'_i = 1/k_i + 2$  来代替  $k_i$ , 这样  $k_i$  的取值范围将变为  $(-1, 3)$ 。设定区间  $[-2, 4]$ , 将其进行等分, 并定义一组累加器, 使每个小区间都对应一个累加器, 每求得一个  $k_i$ , 将其对应累加器的值加 1, 因为同一条直线上的点求得的斜率一致, 当候选点中在同一条直线上的点所对应的累加器出现局部最大值, 该值所对应的斜率  $k_i$  即为所检测直线的斜率。

考虑拖拉机轮距和玉米根茬行距之间的位置关系, 可以分为检测行间直线和检测行茬直线两类。

### 1.3.1 行间直线的检测

对于行间图像, 可设中间两列根茬的中心直线为导航线。在开始采集图像时, 使摄像机对着行间位置进行拍摄, 导航直线最有可能出现在图像的中部, 可根据图像每列上像素的特点求得最有可能出现的列, 即目标列。

从左到右对图像进行扫描, 将每列上的像素值相加, 并将其存储在数组  $C_j$  ( $0 \leq j < m, j$  为像素列号,  $m$  为总列数), 如图 3a 所示。各列的平均值为

$$A = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{m-1} C_j \quad (7)$$

由于导航线在图像中心附近, 因此中心线两侧平均值与像素分布值的交点最有可能为玉米行茬所在的列, 设其为  $x_1$  和  $x_2$ 。为了方便求取  $x_1$  和  $x_2$ , 可对累计像素分布图进行如下变换: 当  $C_j > A$ , 令  $C_j$  为整个数组中的最大值;  $C_j < A$ , 令  $C_j$  为零。从图像的中心向两侧进行搜索, 碰到的第一个最大值所对应的点则分别为  $x_1$  和  $x_2$ , 如图 3b 所示, 可得目标列为

$$t = (x_1 + x_2) / 2 \quad (8)$$

在每行上以目标列  $t$  为中心分别向左右进行扫描, 向左扫描将碰到的第一个白色像素横坐标设为  $x_{i1}$ , 向右扫描将碰到的第一个白色像素横坐标设为  $x_{i2}$ , 则该行候选点的横坐标为

$$x_i = (x_{i1} + x_{i2}) / 2 \quad (0 \leq i < n_1) \quad (9)$$

式中  $i$ ——图像中像素扫描行序号

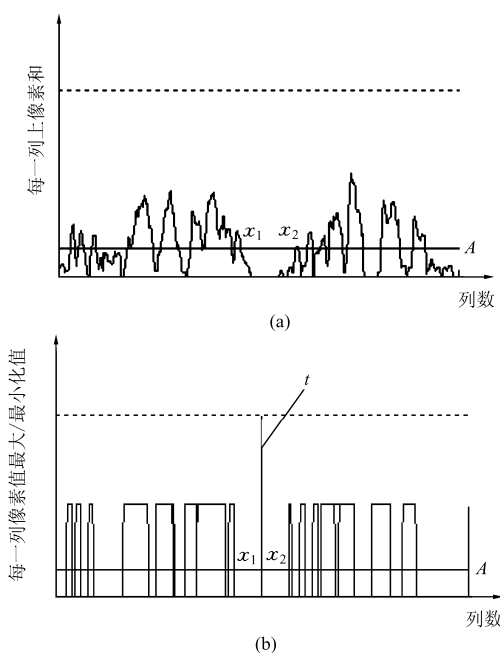


图3 行间直线检测目标列求取示意图

Fig.3 Objective row between stubble rows

(a) 各列像素累计和分布图 (b) 目标列求取

$n_1$ ——图像像素总行数

若某一行向右或者向左搜索不到白色像素点时, 则以  $(t, i)$  作为该行的候选点。

为了使用过已知点的 Hough 变换, 需要确定已知点。由于图像在远方有收敛的趋势, 为了准确地确定已知点, 可以将其选在图像下部三分之一区域内(图像坐标原点在左上角)较近的视野内, 已知点的横坐标及纵坐标为

$$\begin{cases} x_0 = \frac{n}{3} \sum_{i=2n_1/3}^{n_1} x_i \\ y_0 = \frac{2}{3} n_1 \end{cases} \quad (10)$$

### 1.3.2 玉米行茬直线检测

在进行玉米行茬直线检测时, 在作业开始, 要求摄像机正对玉米茬进行拍摄, 使要检测的行茬直线基本上位于图像中部。因此, 可以在图像中部选取一个适当宽度的窗口范围, 由试验可知, 选取图像中心两侧 100 个像素范围内的图像, 如图 4 所示。

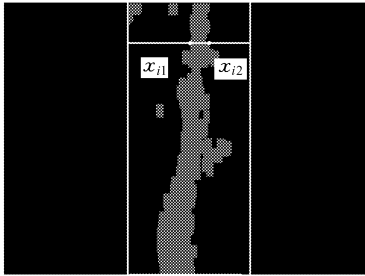


图4 行茬直线检测目标窗口

Fig.4 Objective window of the stubble row image

在选取的窗口区域内,从左到右逐行扫描图像,求取该行中目标像素最长的一段  $x_{i1}x_{i2}$  作为玉米根茬可能存在位置,则该行候选点的横坐标可由式(9)求得。

由于图像在远方有收敛的趋势,因此在图像上部有可能会包含两侧部分玉米根茬,因此,仍可选取图像下部进行已知点的选取,可用式(10)进行选取。

导航作业开始后,农机具可以根据检测的路径,不断调整机具的位置,实现自动对行导向,不再需要人为地保证正对行茬或者正对行间拍摄。

## 2 试验结果与分析

图像采集采用 BenQ DCC420 型数码相机,采集

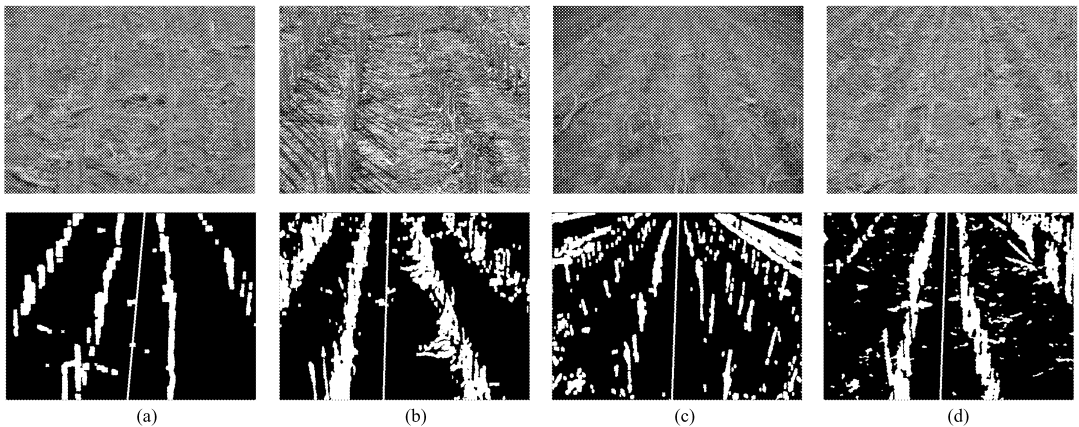


图5 正拍条件下行间直线检测结果

Fig.5 Inter-row line detection results of follow row images

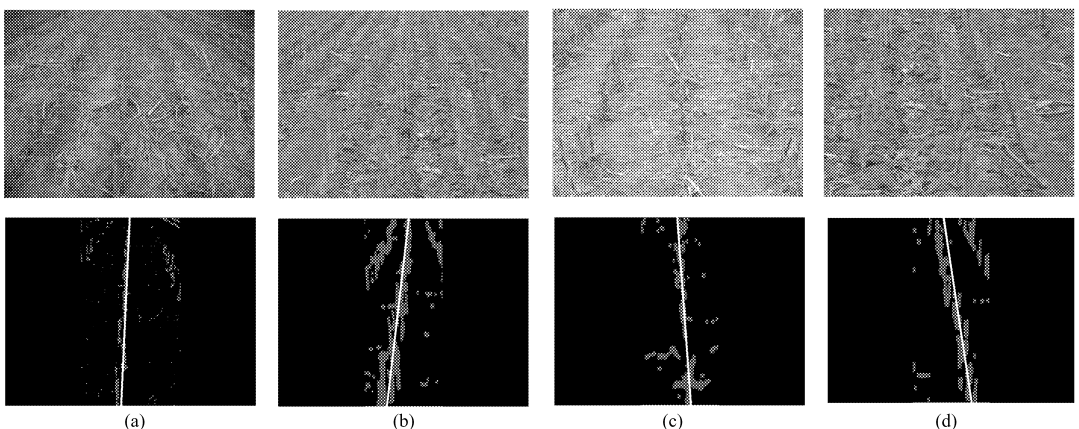


图6 正拍条件下行茬直线检测结果

Fig.6 Stubble line detection results of follow row images

图像的大小为  $640 \times 480$ , 格式为彩色位图文件。将相机安装在拖拉机前方的中间位置,距离地面高度约为  $1\text{ m}$ , 俯角约为  $15^\circ$ , 实际拍摄位置距相机约  $5\text{ m}$ 。利用 Visual C++ 开发软件系统对田间图像进行处理。田间图像分别采集于东北地区及北京市大兴区保护性耕作留茬覆盖地,采集了不同天气条件下(晴天、阴天)的图像。

图5为采集行间图像和行间直线的检测结果,图5a~5d中直线的斜率分别为  $29.064$ 、 $27.027$ 、 $28.167$ 、 $27.027$ ;图6为采集秸秆行图像和行茬直线的检测结果,图6a~6d中检测直线的斜率分别为  $27.027$ 、 $6.897$ 、 $-6.135$ 、 $-6.993$ 。

由100幅图像的处理结果可知,在正拍条件下,行间直线和行茬直线检测均可获取较好的结果,过已知点的 Hough 变换具有较强的抗干扰性,检测速度快、适应性强等优点,算法对田间图像具有较好的适应性,处理的时间不超过  $0.1\text{ s}$ , 满足实时处理的要求。

图7为采用本文方法对偏斜拍摄条件的图像检测结果。由试验可知,算法对偏斜不大的图像有较好的适应性。但是当田间图像出现较大偏斜时,目

标列的位置可能会出现偏差,检测结果则会出现不确定性,在一些情况下会出现错误的检测结果。如图7a、7b分别为偏斜较大条件下正确的检测结果,图7c、7d为偏斜较大时错误的检测结果。试验表明,可检测的直线偏斜范围与根茬行距、田间环境

(光线、杂物等)等因素有关。

由于农机具在实际的导航作业开始后,整个作业过程是根据导航路径不断校正的自定位过程,机具在作业的过程中,一般不会出现如图7所示的较大偏斜。

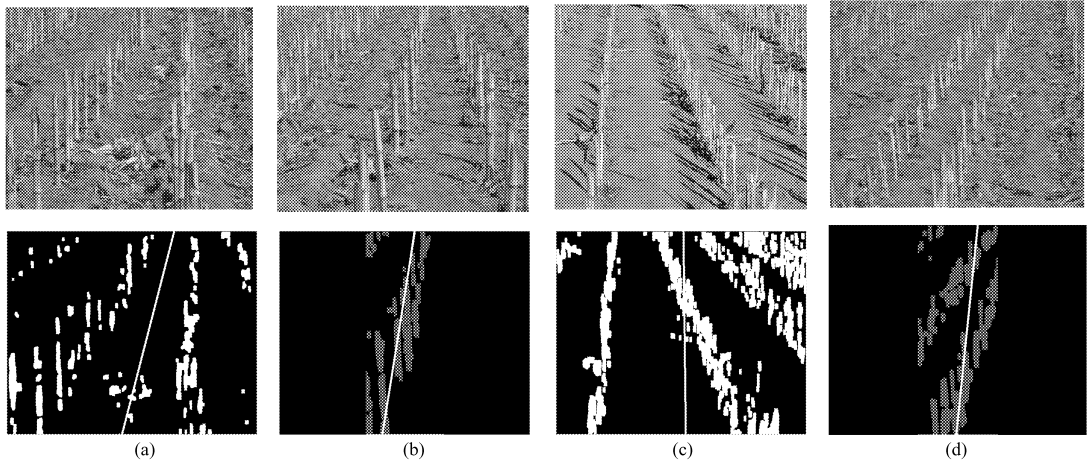


图7 偏斜拍摄条件下的直线检测结果

Fig.7 Line detection results of offset row images

(a) 行间拍摄图像(正确) (b) 对行拍摄原图像(正确) (c) 行间拍摄图像(错误) (d) 对行拍摄图像(错误)

### 3 结论

(1)利用田间图像的彩度信息,选取迭代法对其进行分割,有效地将秸秆根茬从土壤背景中提取出来。

(2)采用过已知点的 Hough 变换检测出玉米直立根茬行间及行茬直线,将穷举式的运算简化为基于一个已知点的一元映射,大幅度减小了计算量,程序运行时间不超过 0.1 s,具有较高的精度及较好的

实时性。

(3)实际应用中,为了提高直线路径的准确性,在行间直线检测时,对候选点的选择采用了平滑算法,在行茬直线的选择时选取了目标窗口来实现。

(4)试验发现,当机具在行驶过程中发生少量偏转时,算法能有效地检测直线;但当发生严重偏转时,算法会出现错误检测的情况。可检测的直线偏斜范围与根茬行距、田间环境(光线、杂物等)等因素有关。

### 参 考 文 献

- 李兵,李洪文. 2BMD-12型小麦对行免耕播种机的设计[J]. 农业机械学报,2006,37(3):35~38.  
Li Bing, Li Hongwen. Design and study of 2BMD-12 no-till planter for wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(3): 35~38. (in Chinese)
- 魏延富. 机电伺服触觉式秸秆导向系统试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.  
Wei Yanfu. Study on feeler based guidance system with electro-mechanical servo following stubble [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 何卿,高焕文,李洪文,等. 机械式拖拉机导向探测装置[J]. 机械工程学报,2007,43(8):159~164.  
He Qing, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Mechanical detector for tractors automatic guidance [J]. Chinese Journal for Mechanical Engineering, 2007, 43(8): 159~164. (in Chinese)
- 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.  
Zhou Jun, Ji Changying, Liu Chengliang. Visual navigation system of agricultural wheeled-mobile robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 90~94. (in Chinese)
- 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, 112.  
Hou Xuegui, Chen Yong, Guo Weibin. Machine vision-based navigation for a weeding robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 106~108, 112. (in Chinese)
- Leemans V, Destain M F. Application of the Hough transform for seed row localisation using machine vision[J]. Biosystems Engineering, 2006, 94 (3): 325~336.

- 7 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.  
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. (in Chinese)
  - 8 陈兵旗. Visual C++实用图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
  - 9 付峰,应义斌. 生物图像阈值分割方法的研究[J]. 浙江大学学报,2003,29(1):108~112.  
Fu Feng, Ying Yibing. A survey on threshold methods of image segmentation [J]. Journal of Zhejiang University, 2003, 29(1): 108~112. (in Chinese)
  - 10 Otsu N. Discriminant and least square threshold selection[C]// IEEE Technical Papers Presented at the Joint ASME/IEEE/AAR Railroad Conference, Association of American Railroads, 1979: 592~596.
  - 11 Ridler T W, Calvard S. Picture thresholding using an iterative selection method[J]. IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, 1978,8(8): 630~632.
  - 12 陈媛,王晓燕,陈兵旗,等. 玉米根茬图像的分割方法研究[J]. 农机化研究,2009(2):17~19.  
Chen Yuan, Wang Xiaoyan, Chen Bingqi, et al. Segmentation of maize stubble image [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(2): 17~19. (in Chinese)
  - 13 Chen B, Watanabe K, Tojo S, et al. Study on the computer-eye of rice transplant robot[J]. Japanese Society of Agric. , Machinery, 1997, 59(3): 23~28.
  - 14 赵颖,孙群,陈兵旗,等. 基于机器视觉的非结构化道路导航路径检测方法[J]. 农业机械学报,2007,38(6):202~204.
- 

(上接第 123 页)

- 7 焦新之,冯秀香,李琳,等. 鸭梨不同采收期对采后生理生化变化和贮藏效果的影响[J]. 园艺学报,1981,8(1):19~24.  
Jiao Xinzhi, Feng Xiuxiang, Li Lin, et al. Effects of picking time on the physiological and biochemical changes of 'Ya Li' [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1981,8(1):19~24. (in Chinese)
- 8 霍君生,佟代言,刘彩莉,等. 鸭梨果心褐变过程中膜脂过氧化及细胞内膜微黏度的变化[J]. 园艺学报,1995,22(3): 221~224.  
Huo Junsheng, Tong Daiyan, Liu Caili, et al. Changes of superoxidation and eddomembrane microviscosity of the core of Ya pears during browning development[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1995, 22(3): 221~224. (in Chinese)
- 9 鞠志国,原永兵,刘成连,等. 急降温对活性氧和梨果心褐变的影响[J]. 中国农业科学,1994,27(5):77~81.  
Ju Zhiguo, Yuan Yongbing, Liu Chenglian, et al. Effects of low temperature on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and heart browning of pear[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1994, 27(5): 77~81. (in Chinese)
- 10 周宏伟. 入库降温速度对鸭梨贮藏生理的影响[J]. 果树科学,1992,9(1):36~38.
- 11 中国科学院北京植物研究所. 鸭梨黑心病的研究 I:温度对黑心病的影响[J]. 植物学报,1974,16(2):140~143.  
Peking Institute of Botany of Academia Sinica. Studies on the brown core of the pear fruit I: the effect of temperature on the brown core[J]. Acta Botanica Sinica, 1974,16(2): 140~143. (in Chinese)
- 12 于金俊. 不同袋对鸭梨外在品质的影响[J]. 河北林业科技,2000(2):22.  
Yu Jinjun. Effects of different bags on the external quality of Yali pear[J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2000(2):22. (in Chinese)
- 13 韩东海,涂润林,刘新鑫,等. 鸭梨黑心病与其果皮颜色、硬度和糖度的方差分析[J]. 农业机械学报,2005,36(3): 71~74.  
Han Donghai, Tu Runlin, Liu Xinxin, et al. Variance analysis of color, hardness, sugar content and blackheart of Chinese pear 'Yali' [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(3):71~74. (in Chinese)
- 14 李里特. 食品物性学[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- 15 郝荣庭. 中国鸭梨[M]. 北京:中国林业出版社,1999.