

基于最小二乘法的早期作物行中心线检测方法*

司永胜^{1,2} 姜国权³ 刘刚² 高瑞² 刘兆祥²

(1. 河北农业大学信息科学与技术学院, 保定 071001; 2. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 河南理工大学计算机科学与技术学院, 焦作 454003)

【摘要】 提出了一种基于最小二乘法的早期作物行中心线检测算法。利用 $G-R$ 颜色特征因子分割作物与背景。根据作物与杂草的长度属性去除部分杂草噪声, 应用垂直投影法动态检测作物行数, 并提取作物行中点为特征点, 获得特征点图像。利用特征点间的邻近关系对特征点进行分类, 对归类后的特征点进行两次最小二乘法拟合, 得到作物行中心线。对于有作物缺失的作物行, 采用统计条形区域内特征点数量的方法判别检测结果的可信度。实验结果表明, 算法能克服杂草和作物缺失的影响, 实时地提取小麦、玉米和大豆作物行, 平均每幅图像处理时间小于 150 ms。

关键词: 农业机械 导航 机器视觉 图像分割 直线检测 最小二乘法

中图分类号: TP242.6+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0163-05

Early Stage Crop Rows Detection Based on Least Square Method

Si Yongsheng^{1,2} Jiang Guoquan³ Liu Gang² Gao Rui² Liu Zhaoxiang²

(1. College of Information Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

2. Key Laboratory on Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China 3. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract

To improve real-time performance of agriculture vehicle navigation, an algorithm based on least square method for detection of crop rows, especially of crops in the early stage of growth was proposed. Crops were segmented from background by the index of $G-R$. Parts of the noises of weeds in the image were eliminated according to their length. Crop line numbers were detected dynamically by vertical projection method. Center points of crop rows were extracted as feature points and were classified into different clusters. Least square method was used twice for fitting the center line of crop row to the feature points. The number of the feature points was counted to judge the reliability of the detection result of crop row with plant deficiency. The experimental result showed that the algorithm could overcome the effect of weed noise and plant deficiency. The average time of image processing was less than 150 ms.

Key words Agricultural machinery, Navigation, Machine vision, Image segmentation, Line detection, Least square method

引言

农业机械的自动驾驶技术在除草、播种及收获等方面有广泛应用, 其中, 检测作物行的中心线进行

导航, 是视觉导航的常用方法^[1-2]。目前的研究多采用霍夫变换 (Hough transform, 简称 HT) 进行直线检测^[3-6]。HT 算法受噪声和作物行缺苗影响小, 鲁棒性强, 但 HT 算法本身存在累加器峰值较难确定

收稿日期: 2009-11-05 修回日期: 2010-01-15

* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10A304, 2006AA10Z255)和中国农业大学研究生科研创新专项资助项目

作者简介: 司永胜, 讲师, 中国农业大学博士生, 主要从事机器视觉、农业机器人研究, E-mail: siyongsheng@hotmail.com

通讯作者: 刘刚, 教授, 博士生导师, 主要从事电子信息技术在农业中的应用研究, E-mail: pac@cau.edu.cn

和重复线段多等问题,在杂草等噪声较大时,HT算法识别作物行的实时性和准确性较差^[7]。文献[8~11]对HT进行改进或提出了其他算法,提高了检测速度。然而,目前基于机器视觉的农业机械的作业速度因图像处理的耗时受到很大的限制^[12]。因此,本文提出一种基于最小二乘法的早期作物行中心线提取方法,以快速准确地提取作物行中心线。

1 实验材料及方法

1.1 图像采集及实验设备

实验所用图像采集自国家精准农业研究示范基地和中国农科院试验田。采集的图片大小为 640×480 像素。图像处理所用计算机配置主频2.2 GHz,内存1.25 GB,开发环境为Visual C++6.0。

1.2 作物的识别

有多种方法从农田背景中识别作物,文献[6]先将图像从RGB空间转换到HIS空间,提取其色度图后,再用最大类间方差(也称OSTU法)自动取阈值法二值化作物图像。文献[10]采用对RGB图像采用 $2G-R-B$ 法获得灰度图像,然后采用OTSU法识别作物。上述方法将原始图像转换为灰度图像,再转换为二值图像,进行作物识别。为提高识别速度,研究作物与背景的颜色特征,通过剖面线图进行分析,如图1所示。

对直线 L 所在行的所有像素作剖面图,其中 R 和 G 分别为像素在 R 和 G 分量上的灰度值。对 $G-R$ 的值进行二值化处理,得到曲线 $G-R$ (为显示方便,如果 $G-R>0$,则 $G-R=255$,否则 $G-R$

$R=100$)。容易发现,图像作物区域的绿色分量 G 要大于红色分量 R ,而土壤则相反。 $G-R$ 可以较好地分割作物(值为255)和农田背景(值为100)。作物中的枯黄叶子会在分割过程中产生少量噪声,可以通过后期算法进行消除。因此,本文采用速度更快的 $G-R$ 颜色特征因子法进行作物识别,若某一像素满足 $G-R>0$,判断该像素为作物,否则为背景。对小麦(图2)、大豆(图3)、玉米(图4)不同作物采用上述方法进行作物与背景分割,得到二值图像如图2b、图3b、图4b所示。

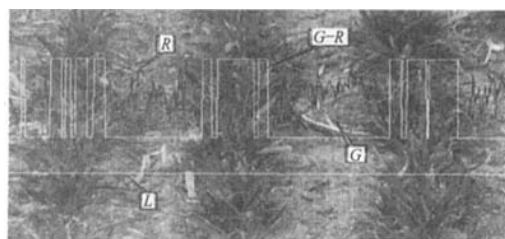


图1 线剖面分析

Fig. 1 Result of line profile map

1.3 作物行的特征点提取

为减小后期计算量,从二值图像的作物行中提取部分代表性的特征点来表示作物行。每行像素中,作物表现为长度不同的白色线段,取各个线段的中点作为代表作物行的特征点。和作物行宽度相比,杂草的长度较短,通过清除较短的线段,可以减轻杂草噪声干扰(尽管作物行边缘较短线段也被清除,但作物行中心线位置不受影响)。具体算法如下:按从上到下、从左到右的顺序扫描二值图像,通

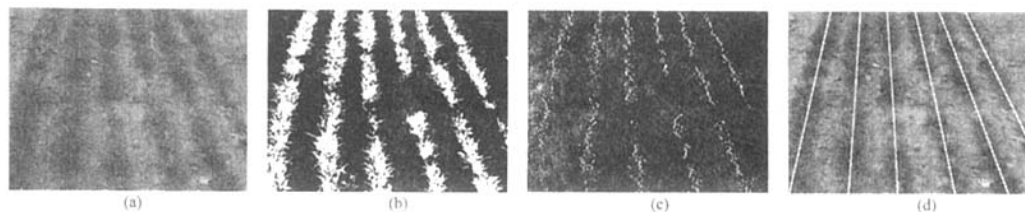


图2 小麦作物行提取

Fig. 2 Detection of wheat crop rows

(a) 原始图像 (b) 二值图像 (c) 特征点图像 (d) 作物行检测

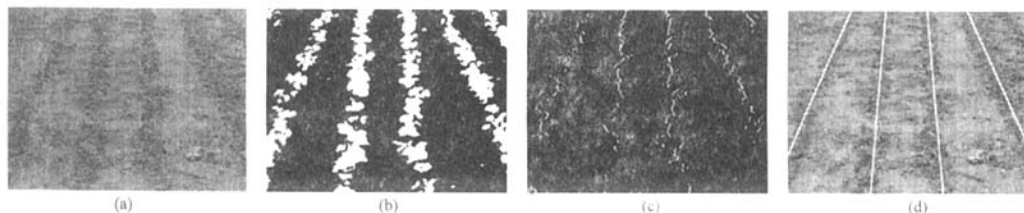


图3 大豆作物行提取

Fig. 3 Detection of soybean crop rows

(a) 原始图像 (b) 二值图像 (c) 特征点图像 (d) 作物行检测

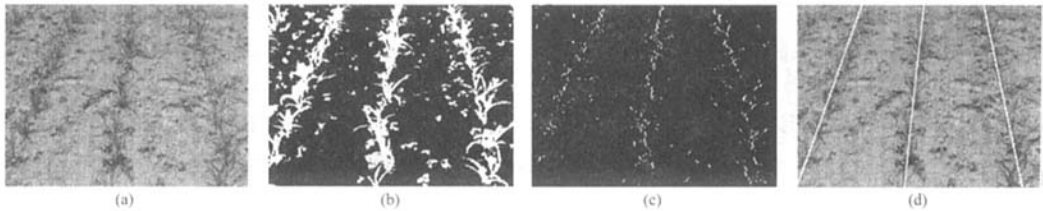


图 4 玉米作物行提取

Fig.4 Detection of corn crop rows

(a) 原始图像 (b) 二值图像 (c) 特征点图像 (d) 作物行检测

过检测像素从 0 到 1 或从 1 到 0 的跳变,判定白色线段的起点和终点。设置长度阈值,将长度小于阈值的线段上所有像素转换为背景色(像素值为 0),得到去除噪声的二值图像。扫描去除噪声后的二值图像,保留白色线段中点,将其余点转换为背景色。在作物早期,一般杂草较小,可取阈值范围为 $w/5 \sim w/4$,其中 w 为作物行宽度(w 为平均宽度,即靠近图像中部的宽度)。

1.4 作物行的检测

传统的 HT 算法直线检测计算量大,占用内存大。为克服上述缺陷,Xu^[13]等提出了随机 Hough 变换(RHT),减小了运算量,但其收敛性仍然较差。

最小二乘法是一种常用的直线检测方法,它的优点是检测速度快、精度高,但实际作业中存在下述原因难以直接对作物图像进行直线检测:作物图像中一般具有多行作物;常伴有杂草噪声;存在作物缺失。对上述问题,采用如下方法解决。图 2c、图 3c、图 4c 的特征点图像中,同一作物行的特征点之间距离较近。根据像素点间的距离关系对特征点进行分类,同行作物特征点归为一类,然后采用最小二乘法进行直线检测。特征点图像中有部分杂草噪声,如果噪声点紧邻作物行,对直线检测结果影响较小,而远离作物行的噪声点影响检测效果,需要进行清除。计算各点到检测出的直线的距离,将距离远的点作为噪声清除,并对清除噪声后的点集再次进行最小二乘法直线检测,得到最终的作物行中心线。如果

存在作物缺失,作物行中只有部分特征点参与直线检测,检测出的直线可能偏离实际作物行,采用统计特定条形区域内特征点数量的方法判别检测结果的可信度。设检验出的直线 l 的直线方程为 $y = ax + b$,则图像上点 $P(x_m, y_m)$ 到直线 l 的距离为

$$d = \frac{|y_m - ax_m - b|}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

(1)

给定合适的距离 d ,可以确定两条与 l 平行的直线 l_1, l_2 。如果检测结果可信度较高,作物行大部分特征点应该位于 l_1, l_2 之间的条形区域内,否则,检验结果可信度较低。本文选取 $d = w/2$,得到条形区域如图 5 所示。

根据相机的安装角度等具体工况,可确定待检测的作物行数。但在实际工作中,有可能由于摄像机相对于作物行的位置的变动,从而导致图像中包含的作物行数发生变化。为了动态地检测出当前图像作物行的行数,采用了垂直投影^[9,11]的策略。设图像的大小为 $M \times N$ 像素,将图像等分为上、中、下 3 部分,在图像高度方向上的中间位置截取图像 $M \times h$,其中 $h = N/3$,利用垂直投影法得到作物行的行数(部分作物行在图像中间部分没有出现,说明作物行过短,没有检测意义)。为避免杂草的干扰,本文对去除噪声的二值图像的中间部分进行垂直投影。图 6 分别显示了对图 2b、图 3b、图 4b 去除噪声后采用垂直投影法的效果图,其中曲线 $s(j)$ 表示第 j 列的白色像素在垂直方向的累加和,直线 m 表示白色

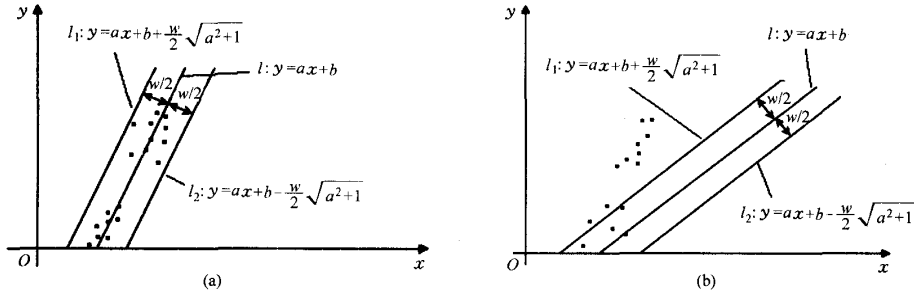


图 5 作物缺失情况下的作用行检测

Fig.5 Detection of crop-row with plant deficiency

(a) 高可信度检测的检测结果 (b) 低可信度的检测结果

像素的均值,即

$$s(j) = \sum_{i=1}^h I(i,j) \quad (j=1,2,\dots,M) \quad (2)$$

$$m = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M s(j) \quad (j=1,2,\dots,M) \quad (3)$$

式中 $I(i,j)$ 为点 (i,j) 处的灰度值(0 或 1)。曲线 $s(j)$ 与直线 m 在若干个点相交,设当 $j=k$ ($k=1,2,\dots,M$) 时二者相交,即 $s(k)=m$,若 $s(k-1)<s(k)<s(k+1)$,则 $s(k)$ 点为上升点,否则为下降点。通过判断上升点与下降点间的对应关系与距离,容易统计均值 m 上方较大的波峰个数,该波峰个数即为待检测作物行数。详细的垂直投影法可参考文献[10]。

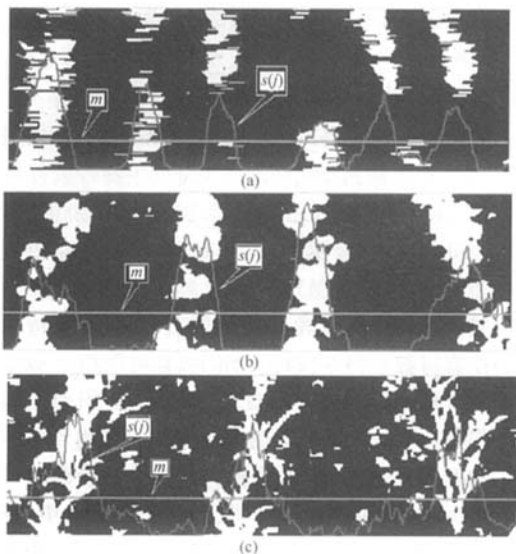


图6 利用垂直投影法对作物行数的检测

Fig. 6 Crop lines number detection with vertical projection

(a) 小麦行数检测 (b) 大豆行数检测 (c) 玉米行数检测

作物行中心线检测的具体算法如下:① 利用垂直投影法确定待检测的作物行数 N , 初始化作物行数计数器 N_{row} 。② 按从上到下、从左到右的顺序扫描特征点图像。将扫描到的第一个特征点(像素值为1)作为当前点,并将该点放入数组。继续扫描图像,计算扫描到的下一个特征点与当前点的距离。设置距离阈值 D_{id} ,如果距离大于或等于 D_{id} ,不做任何操作,继续扫描图像。如果距离小于 D_{id} ,将该点作为当前点,并将该点坐标放入数组,继续扫描整幅图像。③ 采用最小二乘法对数组中的点进行直线拟合,得到直线 l 。设置特征点数阈值 N_{id1} ,如果数组中的元素数量大于 N_{id1} ,转到④执行;否则,说明作物缺失或作物行太短,求得如图5中所示直线 l_1 、 l_2 ,并扫描 l_1 、 l_2 之间的条形区域,统计该区域内的特

征点数,并设置特征点数阈值 N_{id2} ,如点数大于 N_{id2} ,说明检测结果可信度高,转到④执行。否则,将数组中的点在特征点图像中转换为背景,返回步骤②。④ 计算数组中各点到 l 的距离,对距离小于 $w/2$ 的点再次采用最小二乘法进行直线拟合,得到作物行中心线 L_c 。⑤ 作物行数计数器 $N_{row} = N_{row} + 1$ 。如果 $N_{row} = N$,程序结束。否则,将上述条形区域内的代表点转换为背景点,返回②继续执行。

上述距离阈值 D_{id} 的选取和作物行宽度 w 有关。 D_{id} 用来判别同行作物特征点之间的邻近程度,选取范围为 $w/4 < D_{id} < w/2$ 。点数阈值 N_{id1} 的选取和作物种类及播种方式有关,点播作物特征点比条播作物的特征点更为发散,因此小麦等条播作物较少的点数即可确定直线,玉米等点播的作物需要稍多的点数,可取 $60 < N_{id1} < 100$ 。 N_{id2} 的选取和图像长度(图5所示坐标系中 y 轴的方向的长度)及作物缺失程度有关,设图像长度为 M 像素,根据作物缺失程度可取 $0.6M < N_{id2} < 0.8M$ 。

2 实验结果与分析

对所采集的370幅图像进行算法验证,其中小麦100幅,大豆125幅,玉米145幅。验证结果:小麦成功检测99幅,大豆成功检测125幅,玉米成功检测140幅,平均耗时分别为144、131和104 ms。以下对其中具有代表性的图2a、图3a和图4a的处理过程作进一步分析,图2a为阴天拍摄,图3a和图4a为晴天拍摄。

图2b、图4b中的枯叶、杂物及阴影没有影响作物背景的分割效果。从图2b、图3b和图4b可看出,在晴天或阴天情况下,采用 $G-R$ 颜色特征因子均能较好的分割作物和背景。3幅图像所用分割时间分别为9、9和10 ms,采用 $2G-R-B$ 和 OSTU 法结合分割3幅图像所用时间为22、23和20 ms, $G-R$ 颜色特征因子法使图像分割耗时大幅减少。

图2c、图3c和图4c中,利用作物和杂草的长度属性对比,大部分的杂草噪声被清除,得到的特征点较好地反映了作物行信息。

图2a中,部分作物行有明显作物缺失。图4a中,有较多的杂草噪声。在图2d和图4d中,准确地提取了作物行中心线。表明算法对噪声的干扰和作物缺失有较强的鲁棒性。

用本文直线检测算法及 HT 算法、RHT 法3种不同方法对特征点图像图2c、图3c和图4c进行直线检测的效果对比表明:图3c和图4c中特征点较分散或噪声较多,利用 Hough 变换和 RHT 法难以正确提取直线;图2c中特征点紧凑、噪声小,利用3种

方法都能较好地提取直线,时间消耗分别为 HT 法 862 ms、RHT 法 99 ms、本文算法 45 ms。其中 HT 法中 θ 的量化精度为 1° , RHT 算法中阈值 n_i 取 $3^{[13]}$, 时间为运行 20 次的平均时间。由耗时对比可以看出,本文基于最小二乘法的直线检测算法具有较大的速度优势。

实验中图片拍摄的主要参数设置为晴天光圈 f8、快门 1/125s、感光度 ISO100;阴天光圈 f 5.6、快门 1/125s、感光度 ISO100。上述参数设置不当易造成曝光过度或曝光不足,实验发现,对曝光不足图像,算法依然能取得较好效果,但对曝光过度图像,算法精度降低。因此,在实际导航作业中,应注意摄像机的光圈等参数设置,避免出现曝光过度现象。

通过对不同颜色土壤实验表明,土壤颜色对算法影响较小,黄色、红色、黑色土壤均可取得较好效果。

分析检测失败的 6 幅图像(1 幅小麦图像和 5 幅玉米图像),失败的主要原因是作物行间存在作物或较大杂草,将两行作物连接起来,导致根据像素点间的距离关系对特征点进行分类的算法出现错误。

3 结束语

采用 $G-R$ 颜色特征因子进行作物与背景分割的方法。利用长度对比关系清除部分杂草噪声,并提取作物行中点为特征点,获得特征点图像。根据特征点间的邻近关系按作物行分类,对分类后的特征点进行两次最小二乘法拟合,得到作物行中心线。对于有作物缺失的作物行,采用统计条形区域内特征点数量的方法判别检测结果的可信度。对小麦、大豆、玉米的作物行进行直线检测的结果表明,算法能准确快速地进行作物行中心线检测。

参 考 文 献

- 1 赵博,王猛,毛恩荣,等. 农业车辆视觉实际导航环境识别与分类[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 166 ~ 170.
Zhao Bo, Wang Meng, Mao Enrong, et al. Recognition and classification for vision navigation application environment of agricultural vehicle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 166 ~ 170. (in Chinese)
- 2 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 Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 106 ~ 108. (in Chinese)
- 3 Tijmen Bakker, Hendrik Wouters, Kees van Asselta, et al. A vision based row detection system for sugar beet [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(1): 87 ~ 95.
- 4 Björn Astrand, Albert-Jan Baerveldt. A vision based row-following system for agricultural field machinery [J]. Mechatronics, 2005, 15(2): 251 ~ 269.
- 5 Rovira-Ma's F, Zhang Q, Reid J F, et al. Hough-transform-based vision algorithm for crop row detection of an automated agricultural vehicle[J]. Proceedings of the IMechE, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2005, 219(8): 999 ~ 1010.
- 6 赵瑞娇,李民赞,张漫,等. 基于改进 Hough 变换的农田作物行快速检测算法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 163 ~ 165, 221.
Zhao Ruijiao, Li Minzan, Zhang Man, et al. Rapid crop-row detection based on improved hough transformation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 163 ~ 165, 221. (in Chinese)
- 7 Leemans V, Destain M F. Line cluster detection using a variant of the Hough transform for culture row localization[J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(5): 541 ~ 550.
- 8 张磊,王书茂,陈兵旗,等. 基于机器视觉的麦田边界检测[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 111 ~ 114.
Zhang Lei, Wang Shumao, Chen Bingqi, et al. Edge detection for wheat field based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 111 ~ 114. (in Chinese)
- 9 Sogaard H T, Olsen H J. Determination of crop rows by image analysis without segmentation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38(2): 141 ~ 158.
- 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)
- 11 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)

(下转第 185 页)

- Peng Li. Control system of greenhouse study [J]. Computer Engineering, 2000, 26(12): 194 ~ 195. (in Chinese)
- 2 张荣标, 谷国栋, 冯友兵, 等. 基于 IEEE802.15.4 的温室无线监控系统的通信实现[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 119 ~ 122.
Zhang Rongbiao, Gu Guodong, Feng Youbing, et al. Realization of communication in wireless monitoring system in greenhouse based on IEEE802.15.4 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 119 ~ 122. (in Chinese)
 - 3 王风云, 赵一民, 张晓艳, 等. 基于分段控制策略的温室智能测控系统设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 178 ~ 181.
Wang Fengyun, Zhao Yimin, Zhang Xiaoyan, et al. Intelligent measure-control system design based on sectional-control strategy in greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 178 ~ 181. (in Chinese)
 - 4 何世钧, 韩宇辉, 张驰, 等. 基于 CAN 总线的设施农业嵌入式测控系统[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 106 ~ 109.
He Shijun, Han Yuhui, Zhang Chi, et al. Embedded measurement and control system of greenhouse based on CAN bus [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(4): 106 ~ 109. (in Chinese)
 - 5 李莉, 张彦娥, 汪懋华, 等. 现代通信技术在温室中的应用[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 195 ~ 200.
Li Li, Zhang Yan'e, Wang Maohua, et al. Communication technology for sustainable greenhouse production [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 195 ~ 200. (in Chinese)
 - 6 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1 282 ~ 1 291.
Ren Fengyuan, Huang Haining, Lin Chuang. Wireless sensor networks [J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1 282 ~ 1 291. (in Chinese)
 - 7 杜辉, 陈教科. 基于蓝牙技术的分布式温室监控系统设计研究[J]. 自动化仪表, 2005, 26(3): 19 ~ 21, 27.
Du Hui, Cheng Jiaoliao. Research on design of distributed greenhouse monitoring and controlling system based on bluetooth technology [J]. Process Automation Instrumentation, 2005, 26(3): 19 ~ 21, 27. (in Chinese)
 - 8 句荣辉, 沈佐锐. 基于短信息的温室生态健康呼叫系统[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 226 ~ 228.
Ju Ronghui, Shen Zuorui. Greenhouse ecosystem health calling system using short message [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3): 226 ~ 228. (in Chinese)
 - 9 瞿磊, 刘盛德, 胡威斌. ZigBee 技术及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
 - 10 刘卉, 汪懋华, 王跃宣, 等. 基于无线传感器网络的农田土壤温湿度监测系统的设计与开发[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2008, 38(3): 604 ~ 608.
Liu Hui, Wang Maohua, Wang Yuexuan, et al. Development of farmland soil moisture and temperature monitoring system based on wireless network[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2008, 38(3): 604 ~ 608. (in Chinese)
 - 11 黄智伟, 邓月明, 王彦. ARM9 嵌入式系统设计基础教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

(上接第 167 页)

- 12 饶洪辉, 姬长英. 基于机器视觉的成行作物精量喷洒系统研究[J]. 江西农业学报, 2007, 19(2): 63 ~ 65.
Rao Honghui, Ji Changying. Research on precision band spraying system based on machine vision [J]. Acta Agriculture Jiangxi, 2007, 19(2): 63 ~ 65. (in Chinese)
- 13 Lei Xu, Erkki Oja, Pekka Kultanen. A new curve detection method: randomized Hough transform (RHT) [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11(5): 331 ~ 338.