

# 基于机器视觉的农田作物行检测

姜国权<sup>1</sup> 柯 杏<sup>1</sup> 杜尚丰<sup>1</sup> 张 漫<sup>1,2</sup> 陈 娇<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083  
<sup>2</sup> 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)

**摘要** 为了快速有效地提取作物行, 提出了基于机器视觉的农田作物行检测方法。图像预处理过程中, 用中心线检测算法代替垂直投影法获得作物行信息; 直线检测中提出了一种基于随机方法的新算法。该算法首先在由图像定位点构成的数据空间中随机选取两个不同点, 这两点决定一条直线; 然后在一定的距离容忍度下, 得到一个沿直线方向的条形区域, 并在此区域内搜索定位点的个数; 最后根据阈值规则, 判断该直线的真实性。针对大量不同生长时期、不同光照条件下麦田图像的处理, 结果表明, 一幅图像的处理时间约为 120 ms, 能够快速准确地提取作物行。对比该算法与霍夫变换和随机霍夫变换, 证实了它具有节省内存、速度快、抗干扰等优点。

**关键词** 机器视觉; 直线检测; 随机方法; Hough 变换

**中图分类号** TP242 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092904.1015

## Crop Row Detection Based on Machine Vision

Jiang Guoquan<sup>1</sup> Ke Xing<sup>1</sup> Du Shangfeng<sup>1</sup> Zhang Man<sup>1,2</sup> Chen Jiao<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China  
<sup>2</sup> Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** A crop row detection method based on machine vision was put forward to detect crop rows from farmland features images fast and effectively. In the process of image pre-processing, a new algorithm of the central line detection was proposed instead of the traditional vertical projection, and then a novel line detection method based on randomized algorithm was presented. Firstly, two different points are selected randomly from data space composed of locating points which determine a candidate line. Secondly, under the given distance tolerance, a strip region along the line direction is got, and the number of locating points in the region was accumulated. Lastly, the threshold rules are applied to determining whether the candidate line is the desired one. Test results show that the method can accurately find the crop rows under different light conditions and different growth stages. The image processing time is about 120 ms. Compared with Hough Transform (HT) and Randomized Hough Transform (RHT), the proposed algorithm has the advantages of smaller size of computer memory, shorter computational time and good robustness.

**Key words** machine vision; line detection; randomized algorithm; Hough transform

## 1 引 言

作为精准农业的一个重要分支, 农业机器人视觉导航技术正越来越受到关注<sup>[1]</sup>。由于农田作业自身的特点, 由作物行、田垄、犁沟构成的实际引导线主要是直线和可以用多段直线拟合的小曲率曲线, 因此在视觉导航中通过对直线特征的检测就可以得到导航的基准<sup>[2]</sup>。

Rovira-Ma's<sup>[3]</sup>在图像处理过程中, 定义了一个感兴趣区域, 然后在此区域内检测代表作物行的定位点, 实现了作物行的检测; Tijmen Bakker<sup>[4]</sup>首先通过摄像机标定, 把图像坐标系的作物行映射到世界坐标系得到平行的作物行, 然后把多行叠加到一行, 最后运用灰度霍夫变换提取甜菜行。张勤等<sup>[5]</sup>利用带有近红外镜头的单色摄像机, 采用聚类算法

**收稿日期:** 2008-07-07; **收到修改稿日期:** 2008-09-17

**基金项目:** 国家 863 计划(2006AA10A304)资助课题。

**作者简介:** 姜国权(1969—), 男, 博士研究生, 主要从事机器视觉与模式识别等方面的研究。E-mail: jguoquan@163.com

**导师简介:** 杜尚丰(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事自动化检测方面的研究。E-mail: du\_grad\_stud@163.com

进行图像分割,最后运用 HT 获取导航线,实现田间路径识别。陈兵旗<sup>[6]</sup>利用过已知点的 HT 实现犁沟线的识别。

Hough 变换由于抗干扰能力强、不受直线间断点影响而成为检测直线的有效方法。但传统的 HT 存在几种较大缺陷<sup>[7]</sup>:1)计算量大;2)占用内存大;3)提取的参数受参数空间的量化间隔制约。为克服上述缺陷,Xu 等<sup>[8]</sup>提出了随机霍夫变换,采用多到一的映射,避免了传统 HT-到多映射的庞大计算量。采用动态链表结构进行参数累积,降低了内存需求,但其收敛性仍然较差。

为此,提出了一种基于机器视觉的农田作物行



图 1 小麦原始图像

Fig. 1 Original wheat images

### 3 图像预处理

根据农田图像的特点,得出了“2G-R-B 灰度变换<sup>[9]</sup>——Otsu<sup>[10]</sup>自动阈值图像二值化——边缘中间

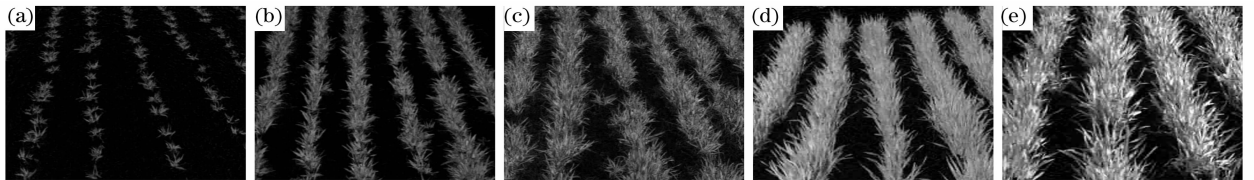


图 2 2G-R-B 灰度图像

Fig. 2 Grey value images after 2G-R-B



图 3 Otsu 二值化图像

Fig. 3 Binarization images after Otsu

二值化后的图像提取出来作物行是由有一定粗度的黑色像素或白色像素组成的集合。为了减少直线提取时所用到的定位点而快速检测出作物行,在二值化后的农田景物图像中,使图像坐标系的每行与作物行的交点只保留一个有代表意义的像素点(定位点)。袁佐云等<sup>[11]</sup>利用垂直投影法检测图像分割后每个图像条的定位点,然后每个作物行用 10

检测算法,首先对图像进行预处理,用中心线检测算法代替垂直投影法,快速检测出代表作物行的中心线,然后用随机方法取代传统的基于 Hough 变换提取直线的算法,减少了内存和计算量,实现作物行的实时有效提取。

## 2 实验材料

实验使用的图像均来自中国农科院研究生院试验田。图像大小为 640 pixel×480 pixel,图 1 显示了不同生长时期,不同光照条件下的部分图像。图像处理由 PC 机(P4 1.8 GHz,256 MB RAM)完成。采用 Microsoft Visual C++6.0 开发。

线检测算法”三个步骤的预处理方法。经过 2G-R-B 灰度变换和 Otsu 二值化,使图像与背景得到了很好的分割。图 2 和图 3 显示了上述两步骤的处理结果。

个定位点来进行直线拟合。该方法虽然能较快地检测作物行,但由于检测作物行时用到的数据点较少,一旦由于图像噪声的干扰使某些检测出的定位点有较大偏差的话,必将导致最终直线检测较大的误差。为此,考虑用基于垂直投影法的区域移动法来尽可能多的得到代表作物行的定位点。其主要步骤是:1)选定图像区域大小 640 pixel×5 pixel,对区域内

像素灰度值垂直投影,得到该区域内作物行的定位点;2)将该区域从上到下移动(移动步长为1个像素),得到整个图像作物行的定位点。用此方法对图3进行处理。图4(为了便于显示,图像采用了反色效果)分别显示了处理结果。所耗时间分别为191 ms,221 ms,225 ms,213 ms和232 ms。显然,该方法处理时间仍然较长,不能较好地满足农业机器人田间作业的实时需求,为此提出了一种新的边缘中心线检测算法。

该算法可分为两步:1)检测作物左右边缘点。从上到下、从左到右扫描整个图像,当像素从0(背

景)跳到1(作物)时,则认为它为左边缘,然后继续向右扫描,当图像像素从1跳到0时,则认为它为右边缘。给定一个距离阈值,当左右边缘点的距离大于这个阈值时,则认为它是真实的左右边缘点,否则视为伪边缘点,将其丢弃。2)定位点的检测。将1)中检测出的真实左右边缘点取中点,这些点即认为代表作物行的定位点。检测结果如图5。运用该算法同样对图3进行处理,所需时间分别为32 ms,38 ms,38 ms,35 ms和33 ms。由此可以看出,运用中心线检测算法得到的图像不仅使作物行的信息更加清晰,而且处理速度得到了显著的提高。

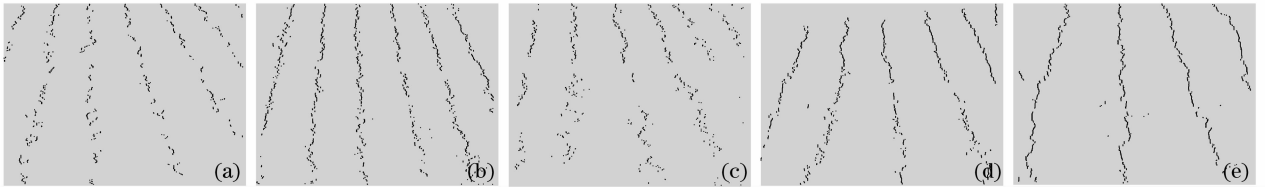


图4 基于垂直投影法的区域移动法得到的定位点检测图像

Fig. 4 Results of localization point detection by moving region method based on vertical projection

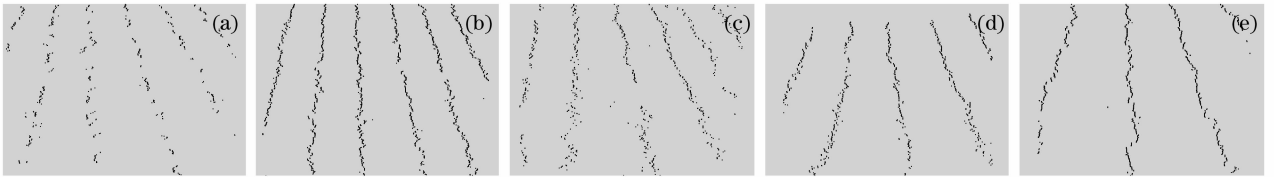


图5 基于中心线检测方法得到的定位点检测图像

Fig. 5 Results of localization point detection based on central-line detection

### 4 基于随机方法的直线检测

假设 $(x, y)$ 为图像预处理后得到的一定位点,图像中直线 $l$ 的方程可表示为

$$y = ax + b, \tag{1}$$

假设 $V$ 表示图像定位点构成的数据空间。则 $V$ 中任意一点 $M(x_m, y_m)$ 到直线 $l$ 的距离 $d$ 为

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

如果 $M$ 点在直线 $l$ 上,则 $d$ 为0。因数字图像是用点

阵表示的,所以 $M$ 点不可能确切地在直线 $l$ 上,故 $d \rightarrow 0$ 。据此,给定足够小的距离 $d$ ,假设有两条直线 $l_1$ 和 $l_2$ 分别与直线 $l$ 平行,它们到 $l$ 的距离皆为 $d$ ,若图像的定位点落在平行直线 $l_1$ 和 $l_2$ 间,则它们必将落在直线 $l$ 上。这样在图像空间就确定了一个如图6剖面线所示的条形区域。考虑到斜率 $a$ 的存在性与图像遍历的快速性,分三种情况进行讨论:图6(a)为斜率 $a$ 不存在时情形;图6(b)和图6(c)分别为 $|a| \geq 1$

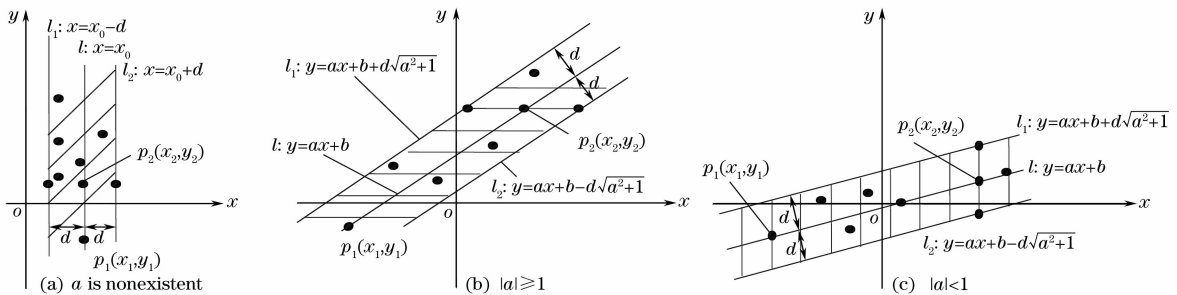


图6 三种情形下条形区域的建立

Fig. 6 Establishment of image strip regions under three different conditions

和  $|a| < 1$  时情形。三种情况下直线  $l, l_1$  和  $l_2$  的直线方程如图所示。其中,  $p_1(x_1, y_1)$  和  $p_2(x_2, y_2)$  为随机选择的两点, 图 6(a) 中,  $x_0 = x_1 = x_2$ 。为了快速实现三个区域内定位点的搜索, 对情形  $a = 0$  和  $|a| \geq 0$ , 采取先后行的扫描方式; 对情况 (c), 采取先列后行的扫描方式。算法的具体步骤如下:

1) 建立包含所有定位点的数据空间  $V$ 。设置门限值  $T_d$  和  $T_s$ 。它们分别代表容许的距离长度和图像条形区域中令人满意的定位点的数目;

2) 指定检测的直线条数  $N$  和较小的距离  $d$  ( $d = 1$ ); 将失败累加器  $f$ 、分别代表三个条形区域内数据点个数的计数器  $s_1, s_2, s_3$ 、直线条数计数器  $s$  清零;

3) 如果  $s = N$ , 程序结束, 否则, 从  $V$  中随机选择两个不同点, 同时将这两个点从数据空间中清除;

4) 计算这两点的距离。如果大于  $T_d$ , 求得直线  $l$  方程, 以及与直线  $l$  平行且距离皆为  $d$  的直线方程  $l_1$  和  $l_2$ , 得到图 6 所示的一个条形区域, 然后转入 5); 否则, 执行  $f = f + 1$ , 将这两点放回  $V$ , 返回 3);

5) 统计落到相应条形区域内定位点的个数。如果  $s_1$  ( $s_2$  或  $s_3$ )  $\geq T_n$ , 则认为直线  $l$  是待检测直线, 执行  $s = s + 1$ , 将相应的  $s_1, s_2$  或  $s_3$  清零, 并且清除该区域内及周围定位点的个数, 更新  $V$ , 返回 3); 否则,  $f = f + 1$ , 将这两个定位点放回  $V$ , 返回 3)。

算法中定义的失败累加器, 只是为了下一步与 RHT 的比较而设计的。在实际应用中没有太大意义。另外, 利用该算法对具体的小麦作物提取作物

行时,  $T_d$  可取一个较小的数 ( $T_d = 5$ ),  $T_s$  根据小麦不同生长时期, 取相应的值, 对  $640 \text{ pixel} \times 480 \text{ pixel}$  的图像, 一般在  $60 \sim 100$  范围内。另外, 由于图像中作物行长短不齐, 用一个固定的阈值  $T_s$  评判所有的作物行, 显然有些不宜。于是采用了阈值的动态调节法, 也就是当检测出一条作物行时, 执行  $T_s = k \cdot T_s$  ( $0.8 \leq k \leq 1$ )。这样既能保证较长作物行检测的准确性, 又能检测出较短作物行。

## 5 实验结果与分析

### 5.1 实验结果

为了验证算法的有效性, 对自然环境下, 小麦的不同生长时期、不同光照的图像 (共 200 幅) 进行作物行检测测试。结果表明, 作物行的正确识别率达到 98%, 平均耗时 120 ms。图 1 显示了采集的部分图像。图 1(a) 和图 1(b) 是在阴天下采集的, 图 1(c)、图 1(d) 和图 1(e) 是在晴天下采集的, 其中图 1(c) 作物有缺失, 图 1(d) 和图 1(e) 有较强的阴影。预处理后的图像如图 5 所示。从图中可以看出, 预处理后得到的定位点图像过滤掉了土块、杂物、阴影等干扰, 使得作物行的信息更加清晰, 为下一步的直线检测奠定了较好的基础。图 7 显示了基于随机方法提取作物行的检测结果。整个图像处理 (图像预处理和直线检测) 所耗时间从左到右依次为: 111 ms, 129 ms, 117 ms, 105 ms 和 98 ms。由此可以看出, 小麦的作物行在不同的自然条件下都能快速准确地检测出。

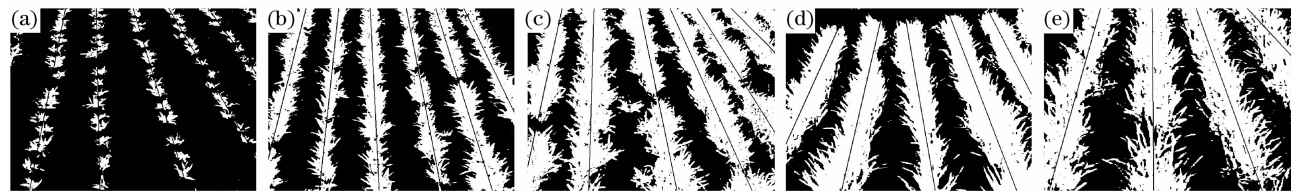


图 7 作物行检测结果

Fig. 7 Results of wheat row detection

### 5.2 与其他直线检测算法的比较分析

最小二乘法是直线检测常用的方法, 它的优点是检测速度快, 缺点是对图像噪声敏感。而农田作物图像由于受阴影、杂草、作物缺失等图像噪声影响, 实际应用中很少用它来检测作物行。现以农田作物行检测中常用到的 HT 和 RHT 来和本算法做对比分析。

#### 5.2.1 空间复杂度

在基于 HT 的直线检测算法中, 由于需要将图像定位点映射到 Hough 空间中进行累加判断, 所以

Hough 空间的大小和量化精度就显得至关重要。量化的 Hough 空间小、精度低, 虽然可以节省内存, 但却常不能准确地检测直线。因此要准确地检测直线, 就必然要提高量化精度, 而这又是以牺牲存储空间和计算量为代价的。再者, 当图像噪音较大时, 在 Hough 空间检测代表直线参数的峰值也是一项很困难的工作<sup>[12]</sup>。而基于随机方法的直线检测算法, 首先在数据空间中随机选取两点, 形成候选直线, 然后在形成的条形区域中统计定位点的个数, 最后根据阈值规则判断直线的真实性。由于它只是利用了统计

条形区域内定位点个数的计数器,没有用到代表 Hough 空间的累加器,所以明显地降低了空间复杂度。

### 5.2.2 时间复杂度

由于采用了随机方法进行直线检测,所以在此用概率模型来讨论提出的算法和 RHT 的时间复杂度。假设图像中有  $M$  个定位像素点,图像中的一条直线上有  $S$  个定位像素点。这样随机选择一个定位像素点属于该直线的概率为  $p=S/M$ 。假定事件  $A$  为随机选取两点属于该直线,则事件  $A$  发生的概率为

$$P[A] = S(S-1)/M(M-1), \quad (3)$$

因  $M$  和  $S$  较大,不妨将  $P[A]$  近似为  $p^2$ 。在 RHT 中,假定事件  $A$  发生两次表明检测直线成功,否则,表明检测直线失败<sup>[13]</sup>;本文提出的算法中,假定事件  $A$  发生一次表明检测直线成功,否则,表明检测直线失败。定义随机变量  $X_{\text{RHT}}$  为 RHT 中事件  $A$  发生两次前失败的次数,随机变量  $X_{\text{Proposed}}$  为本算法中事件  $A$  发生一次前失败的次数。则  $X_{\text{RHT}}$  服从负二项分布,其概率密度函数为

$$f_{\text{RHT}}(x) = (x+1)(1-P^2)^x(p^2)^2, \quad (4)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots$$

式中  $x$  为 RHT 中事件  $A$  恰好发生两次时检测直线

失败的次数。而  $X_{\text{Proposed}}$  服从几何分布,其概率密度函数为

$$f_{\text{Proposed}}(x) = (1-P^2)^x p^2, \quad (5)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots$$

这里  $x$  为本算法中事件  $A$  恰好发生一次时检测直线失败的次数。

随机变量  $X_{\text{RHT}}$  和  $X_{\text{Proposed}}$  对应的概率分布函数为

$$F_{\text{RHT}}(x) = \sum_{i \leq x} f_{\text{RHT}}(i), \quad (6)$$

$$F_{\text{Proposed}}(x) = \sum_{i \leq x} f_{\text{Proposed}}(i). \quad (7)$$

图 8(a) 和图 8(b) 显示了随机变量  $X_{\text{RHT}}$  和  $X_{\text{Proposed}}$  分别在  $p=0.5$  和  $p=0.2$  时的概率分布函数比较。从图中可以看出,无论噪声干扰的大小,在同样的检测概率下,本文算法检测直线失败次数要明显少于 RHT,即运算速度要高于 RHT。图 7 显示了用基于随机方法的直线检测方法得到的作物行结果。表 1 显示了对图像预处理后图像(图 5)用不同算法检测作物行的对比结果。本文算法的处理速度比 HT 和 RHT 都要快。其中检测直线失败次数与图像的噪音水平、直线的条数、定位点的个数等因素有关。

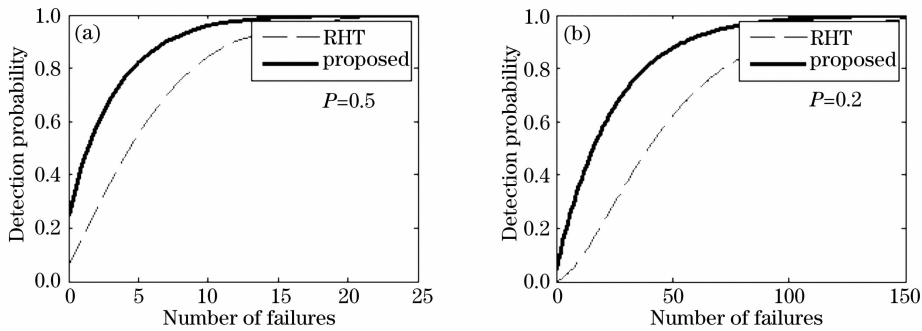


图 8 不同噪音水平下 RHT 和本算法的分布函数比较.  $P=0.5$  (a),  $P=0.2$  (b)

Fig. 8 Comparisons between the  $F_{\text{RHT}}(x)$  and  $F_{\text{Proposed}}(x)$  for two different noise levels.  $P=0.5$  (a),  $P=0.2$  (b)

表 1 不同算法运行结果比较

Table 1 Performance comparisons for three methods

Algorithm	Fig. 5(a)		Fig. 5(b)		Fig. 5(c)		Fig. 5(d)		Fig. 5(e)	
	Time /ms	Failure times	Time /ms	Failure times	Time /ms	Failure times	Time /ms	Failure times	Time /ms	Failure times
HT	115	—	156	—	118	—	112	—	107	—
RHT	104	1628	130	1462	97	1680	96	1351	83	988
Proposed	59	232	80	95	56	89	52	42	58	97

## 6 结 论

以小麦图像为研究对象,提出了基于机器视觉的农田作物行检测方法。采用中心线检测算法代替基于垂直投影法的区域移动法获得代表作物行的定位点,大幅度地降低了系统的时间消耗。采用基于随机方法的直线提取算法,代替传统的基于 HT 的作物行检测,理论分析与实验结果证明了提出的方法不仅节省内存,而且获得了较高的运算速度。处理一幅彩色图像所需时间平均为 120 ms。

本研究的算法能够实时准确提取不同生长时期、不同光照条件下的小麦作物行图像,经过实验证实,它同样适合于玉米和大豆等其他作物。

## 参 考 文 献

- Wilson J N. Guidance of agricultural vehicles a historical perspective[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, **25**(1~2): 3~9
- Yang Weimin, Li Tianshi, Jia Hongshe. Simulation and experiment of machine vision guidance of agriculture vehicles[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, **20**(1): 160~165  
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
- F. Rovira-Ma's, Q. Zhang, J. F. Reid *et al.*. Hough-transform-based vision algorithm for crop row detection of an automated agricultural vehicle [J]. *J. Automobile Engineering*, 2005, **219**(88): 999~1010
- Tijmen Bakker, Hendrik Wouters, Kees van Asselt *et al.*. A vision based row detection system for sugar beet[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, **60**(1): 87~95
- Reid J. F., Zhang Q., Noguchi N. *et al.*. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, **25**(3): 155~167
- 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 of Agridus Madinery* 2006, **37**(4): 83~86  
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
- Shang Fei, Wang Fenggui, Tian Di *et al.*. A method for circle detection based on right triangles inscribed in a circle[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 739~743  
商飞,王丰贵,田地等. 一种基于圆内接直角三角形的圆检测方法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(4): 739~743
- Kultanen P, Xu L, Oja E. Randomized Hough rransform[C]. *Proceedings of IEEE Pattern Recognition*, 1990. 631~635
- Sun Yuanyi, Zhang Shaolei, Li Wei. Guidance lane detection for pesticide spraying robot in cotton fields [J]. *J. Tsinghua University (Sci & Tech)*, 2007, **47**(2): 206~209  
孙元义,张绍磊,李伟. 棉田喷药农业机械机器人的导航路径识别[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2007, **47**(2): 206~209
- Yao Yuhong, Li Yanfeng, Liu Bowen *et al.*. Analysis of real photonic crystal fibers by finite-difference frequency-domain method combined with digital image processing[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1384~1389  
姚宇宏,栗岩峰,刘博文等. 基于图像处理的频域有限差分法用于实际光子晶体光纤的研究[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1384~1389
- Yuan Zuoyun, Mao Zhihui, Wei Qing. Orientation technique of crop rows based on computer vision[J]. *J. China Agricultural University*, 2005, **10**(3): 69~72  
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
- Kim J., Krishnapuram R.. A robust Hough transform based on validity[C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1998, **2**: 1530~1535
- Teh-Chuan Chen, Kuo-Liang Chung. An efficient randomized algorithm for detecting circles[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2001, **83**(2): 172~191