

# 水稻插秧机视觉导航基准线识别研究

迟德霞<sup>1,2</sup>,任文涛<sup>1\*</sup>,刘金波<sup>1</sup>,魏东宇<sup>1</sup>

(1.沈阳农业大学 工程学院,沈阳 110161; 2.辽宁石油化工大学 矿业工程学院,辽宁抚顺 113001)

**摘要:**针对水稻插秧机视觉导航的基准线提取问题,探索采用基于垂直投影法为基础的识别算法识别水稻稻田图像导航基准线。首先人工读取稻田图像中秧苗、水、秸秆残茬、泡沫和泥的 R、G、B 像素值,绘制 RGB、HSI、I<sub>1</sub>I<sub>2</sub>I<sub>3</sub> 颜色空间的各颜色分量灰度直方图,分析差异,选取正交彩色空间的 I<sub>3</sub> 颜色分量灰度值分割图像;用最大类间方差法求取分割阈值,成功地把秧苗和背景分割开得到二值图像;在分割后的二值图像上添加掩膜,去除图像上部左、右角断垄秧苗图像,提高基准线识别精度;采用垂直投影法提取定位点,经过分析判断后用稳健回归法拟合合成直线,该直线作为水稻插秧机自主行走的导航基准线。将 20 幅稻田图像采用该算法提取基准线,并与人工提取的基准线进行比较。结果表明:单幅图像最小平均误差率为 0.78%,20 幅图像均误差率为 2.33%,说明该方法具有一定的可行性,能够为水稻插秧机自主行走提供导航信息。

**关键词:**水稻插秧机;导航;机器视觉;图像分割;基准线;

DOI:10.3969/j.issn.1000-1700.2014.05.010

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1000-1700(2014)05-0559-07

## Research of Directrix Recognition Algorithm of Vision Navigation of Transplanter

CHI De-xia<sup>1,2</sup>,REN Wen-tao<sup>1\*</sup>,LIU Jin-bo<sup>1</sup>,WEI Dong-yu<sup>1</sup>

(1.College of Engineering,Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;2.College of Mining Engineering,Liaoning Shihua University, Fushun Liaoning 113001, China )

**Abstract:** For the directrix recognition of the rice transplanter vision navigation, a recognition algorithm based on vertical projection to detect navigation directrix is proposed. R,G,B pixel values of rice seeding, residual straws, foam, water, mud are read manually. Color components were drawn in RGB, HIS, I<sub>1</sub>I<sub>2</sub>I<sub>3</sub> color space gray histograms. For the difference, I<sub>3</sub> color component gray value was used to segment the paddy image. The rice seedling pixels were segmented from background pixels with threshold calculated with OTSU to get the binary image. A mask was put on the binary image to delete the left and right part of the upper image of rice seeding to get a better recognition precision. The location points in the image were detected with vertical projection. Directrixs were fitted with the Robust Regression. The result showed that minimum average error rate of one image was 0.78%,the average error rate of 20 images were 2.33%,and the rice transplanter was feasible to get the navigation parameters with the algorithm.

**Key words:** rice transplanter; navigation; machine vision; image segmentation;directrix

水稻插秧机的自主行走对于精准插秧、降低驾驶员劳动强度具有重要意义。实现自主行走的方式主要有机械触杆导航、预埋引导电缆的有线引导、地磁导航、无线电或激光导航、惯性导航、机器视觉和 GPS 导航等<sup>[1-5]</sup>,机器视觉和 GPS 导航是最具有发展前途的两种方式。采用绝对坐标导航的 GPS 导航,工作可靠,可以进行大范围的工作路径规划,但高精度 DGPS 由于价格昂贵限制了该技术的推广。随着图像处理技术的发展,使得机器视觉导航成为可能,与 GPS 导航相比,机器视觉导航灵活性大,实时性和精确度高,也更廉价。而水稻秧苗在田间按照彼此平行的直线栽植,排列比较规则,所以行成的图像是比较规则的几何图形,这为机器视觉提取导航基准线打下良好基础。而如何对稻田图像中水稻秧苗行中心线提取是水稻插秧机视觉导航的重要前提,国内外学者进行了一些研究。CHEN B 等<sup>[6-7]</sup>用秧苗的颜色和形态学特性带检测秧苗,提出了线性亮度分析法、线性颜色分析法和微分法,可以检测出图像中堤岸、滨水线和秧苗行。YUTAKA KAIZU 等<sup>[8]</sup>用 LAB 色彩模型中的 B 因子代表水稻苗分割图像,并提出了两种算法用于计算航偏角和距离偏差。后又开发了双谱照相秧苗检测系统采集

收稿日期:2014-04-03

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金联合资助项目(20112103110007)

作者简介:迟德霞(1979-),男,沈阳农业大学博士研究生,从事农业机械系统理论与设计研究。\* 通讯作者 Corresponding author:任文涛(1958-),男,沈阳农业大学教授,博士,从事农业机械系统理论与设计研究

稻田的近红外图像和红外图像,将这两种图像进行标准化运算,近红外图像减去红外图像以消除水面反光,用近红外图像进行加运算消除树冠倒影,解决了秧苗和田边绿色作物水面倒影和由于曝光时间产生的秧苗图像不清问题。杨庆华等<sup>[9]</sup>通过预先设定向量  $T(\Theta)$  范围,对水稻二值图像进行霍夫变换,得到了图片上垄行现象最明显的4条直线。毛可骏等<sup>[10]</sup>用 EXG 因子分割图像,利用垂直投影法定位秧苗,找到定位点后拟合成导航基准线。

目前农业机械导航中广泛使用 RGB 彩色空间,用 EXG 灰度化因子  $(2G-R-B)$  将彩色图像转换为灰度图像后<sup>[11-13]</sup>,再用霍夫变换法<sup>[14-20]</sup>或垂直投影法<sup>[21-23]</sup>提取定位点后再拟合成垄行基准线。霍夫变换法受杂草和断垄影响小、鲁棒性高,但计算时间长,实时性不高;垂直投影法算法简单,计算时间短,但定位性较差,算法还需完善<sup>[19,24]</sup>。本研究将分析适合水稻稻田图像秧苗图像分割的彩色空间,并采用垂直投影法提取水稻稻田图像秧苗行定位点,用差值均值法对漏点进行行间检测,用近邻法对定位点进行列间归类,用稳健回归法把定位点拟合成直线作为导航基准线。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究的图像由 Sony Dsc-90 相机采集,图像尺寸为  $640 \times 480$ 。图像采集于沈阳农业大学北方粳型超级稻成果转化基地和辽宁省抚顺县救兵乡小东村。图像处理算法由 PC 机完成,其配置为主频 1.8GHz、内存 2GB,编程工具为 Matlab2007。

### 1.2 方法

**1.2.1 彩色空间的选择** 在稻田图像中除了水稻秧苗,背景中有水、秸秆残茬、泡沫和露出水面的泥(以下简称泥)等,为了把它们与水稻秧苗分割开,需要有合适的彩色空间。本研究从所获得的图像中选取 50 幅,其中包括晴天/阴天和顺光/逆光的光照条件,用 Matlab 软件人工选取水稻秧苗(R)、水(W)、秸秆(S)、泡沫(F)和泥(M)图像,分别用读取 RGB 彩色信息并记录 R、G、B 值,每一类采集 200 个数据。将读取的 R、G、B 值分别转换成 HIS 彩色空间和  $I_1I_2I_3$ <sup>[25]</sup>正交彩色空间,将这两个彩色空间与 RGB 彩色空间进行对比,选取适合用于秧苗分割的彩色空间<sup>[26]</sup>。

由图 1 可知,在 RGB 彩色空间下,3 个分量的灰度直方图双峰特性不明显,在灰度直方图中不容易确定能简单分割的合适阈值。分析数据可知秧苗的 R 分量灰度值峰值是 120,而水、秸秆残茬、泡沫和泥分别为 150,200,200,110;秧苗 G 分量灰度值峰值是 120,而水、秸秆残茬、泡沫和泥分别为 150,200,170,120;秧苗 B 分量灰度值峰值是 80,而水、秸秆残茬、泡沫和泥分别为 150,160,190,100,在 RGB 彩色空间下,秧苗的 R、G、B 分量灰度值峰值与泥的 R、G、B 分量灰度值峰值重合,而泥在背景中所占比例较大,所以 RGB 彩色空间不适合用于分割图像。由图 2 可知,在 HIS 彩色空间下,S 分量直方图略微呈双峰特性,峰谷为 20%,峰值分别为 10% (为水、泥和泡沫)和 30%(秧苗)。而 H 分量和 I 分量双峰特性不明显。由图 3 可知,秧苗在  $I_1I_2I_3$  正交彩色空间  $I_3$  分量灰度值呈双峰特性,峰值分别为 10(为水、泥和泡沫)和 60(秧苗)。从以上分析可知,HIS 彩色空间的 S 分量和  $I_1I_2I_3$  正交彩色空间  $I_3$  分量可以用于分割水稻稻田图像,参考文献<sup>[21,25]</sup>得知  $I_3$  分量多用于田间图像,并考虑到实时性要求,采用  $I_3$  颜色分量灰度值作为样本数据的特征。

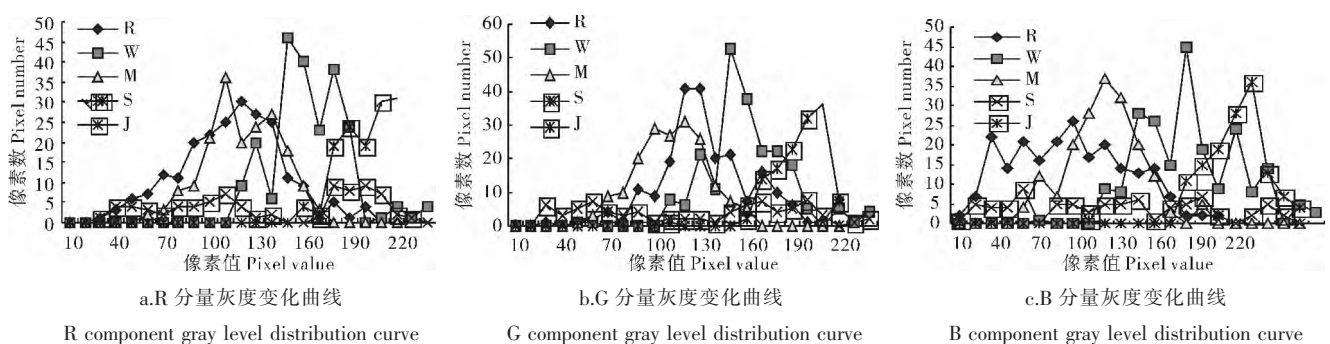


图 1 水稻稻田图像 R、G、B 分量灰度变化曲线

Figure 1 R,G,B component gray level distribution curve of paddy field

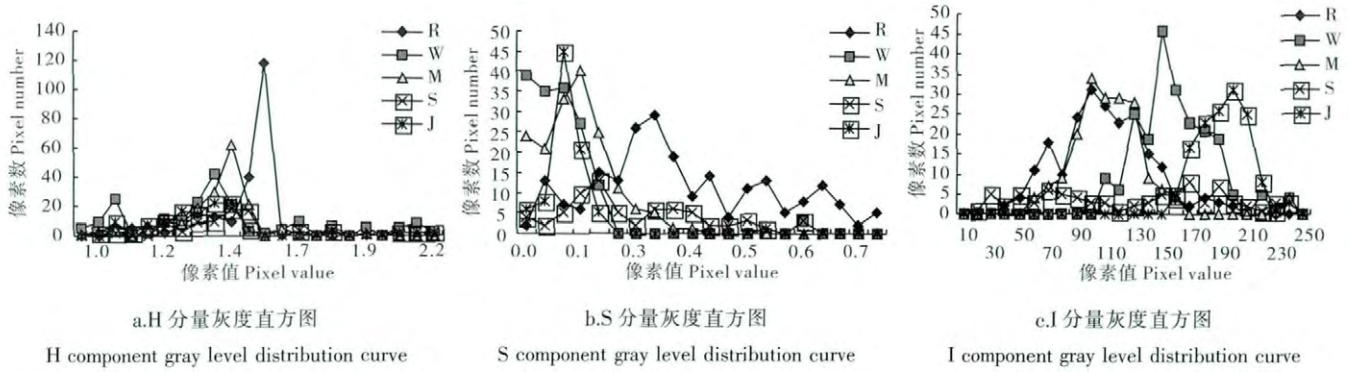
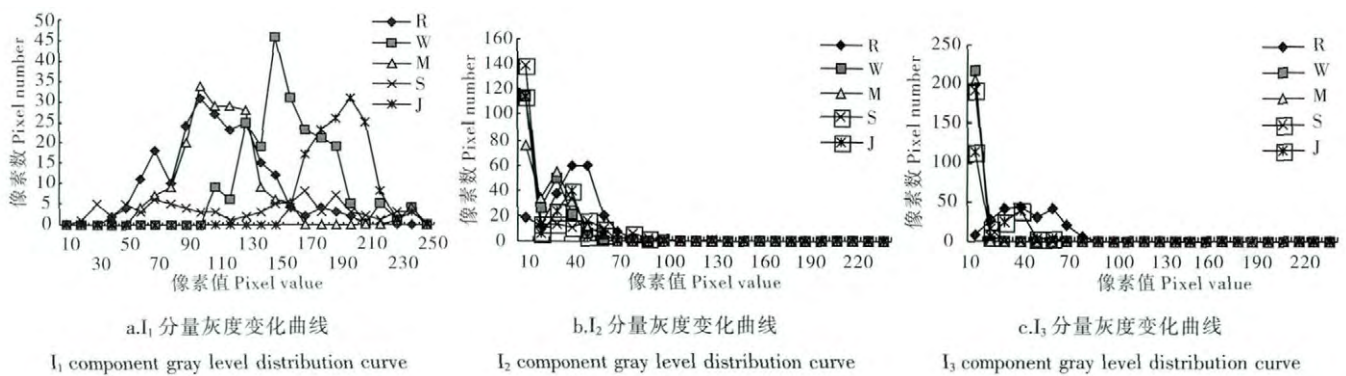


图2 水稻稻田图像 H、S、I 分量灰度变化曲线

Figure 2 H,S,I component gray level distribution curve of paddy field

图3 水稻稻田图像 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub> 分量灰度变化曲线Figure 3 I<sub>1</sub>,I<sub>2</sub>,I<sub>3</sub> component gray level distribution curve of paddy field

1.2.2 图像分割 考虑到本算法的实时性要求,本研究采用 I<sub>1</sub>I<sub>2</sub>I<sub>3</sub> 正交彩色空间 I<sub>3</sub> 分量灰度值,用最大类间方差法(OTSU)求取 I<sub>3</sub> 分量灰度值的灰度阈值,从而把灰度图像转化为二值图像。OTSU 法是基于分割出的目标与背景之间的方差最大的思想来确定阈值。设图像的灰度范围为{0,1,...,m-1},在图像中灰度值为  $i$  的概率为  $P_i$ ,阈值  $T$  将图像分割为目标类  $A_0=\{0,1,\dots,T\}$ ,背景类  $A_1=\{T+1,T+2,\dots,m-1\}$ ,各类发生的概率为  $\omega_0$ 、 $\omega_1$  及平均灰度值  $\mu_0$ 、 $\mu_1$ ,由此可得:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^T P_i \quad (1)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=T+1}^{m-1} P_i = 1 - \omega_0 \quad (2)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^T \frac{iP_i}{\omega_0} \quad (3)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=T+1}^{m-1} \frac{iP_i}{\omega_1} \quad (4)$$

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (5)$$

从灰度最小值到最大值遍历  $T$ ,当阈值  $T$  使类间方差最大时,该  $T$  值为最佳分隔值<sup>[27-28]</sup>。彩色图像由 I<sub>3</sub> 分量转化成灰度图像,经过阈值分割处理转化为二值图像(图 4a),其中白色代表秧苗,黑色代表背景。在图 4 中肉眼可以清楚地观察到 6 行秧苗,而在图像的左上角有 3 个较细的秧苗行,右上角有 2 个较细的秧苗行,这些细小的秧苗行是由于相机和秧苗的位置关系产生的,会一直在图像中出现。这些细小行会干扰定位点的识别,而识别这些小行的基准线比较困难。本研究提取基准线意在获取导航参数,在提取导航参数时,只选择中间的一条基准线,伴随插秧机不断调整位姿,该线始终处于图像中部,因此本研究在有细小行的图像部位添加掩膜,



去除细小秧苗行,但掩膜尺寸不宜过大,否则会遮挡欲提取的基准线,添加的掩膜如图4b,添加掩膜后的图像如图4c。

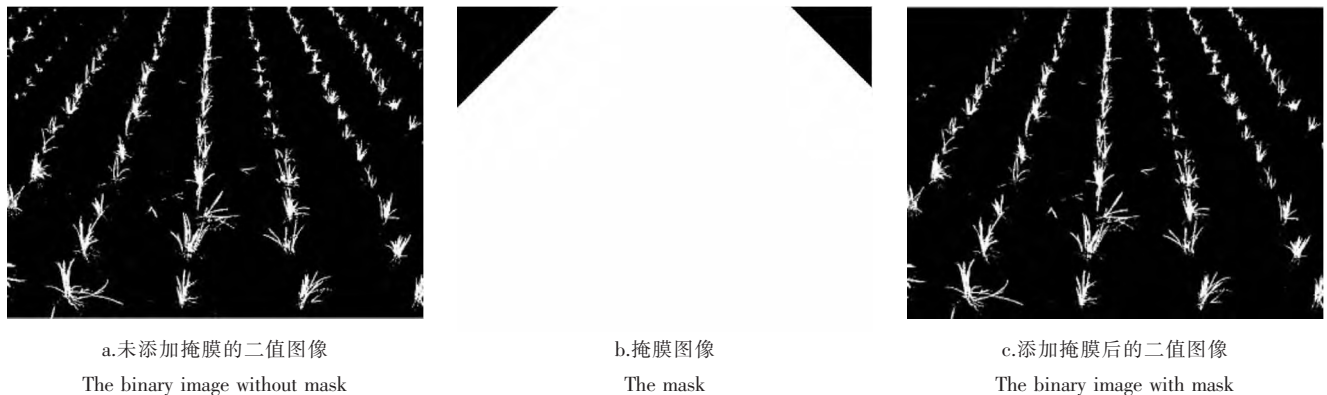


图4 水稻稻田图像添加掩膜效果  
Figure 4 The effect of the mask on the image of paddy field

1.2.3 定位点检测 投影法是根据图像在特定方向上的投影分布进行特征提取的一种方法<sup>[29]</sup>。本研究运用垂直投影法求取稻田二值图像投影曲线,计算曲线突出波峰位置,运用回归方法对图像条上的秧苗位置点进行线性拟合,得到的回归直线即为水稻秧苗的基准线。

设二值化后图像尺寸为  $W \times H$ , 单位是像素,把图像分割成  $K$  条,分割后的图像条为  $W \times h$ ,  $p(i, j)$  为图像中  $(i, j)$  处  $I_3$  分量值,  $s(j)$  为图像条上第  $j$  列进行垂直投影得到的像素值,  $m$  为图像条上所有投影值的均值。由图5可知,图像条上的水稻秧苗区域  $I_3$  分量值要比非水稻区域高,在  $s(j)$  曲线上表现为波峰,所以根据在  $s(j)$  曲线上大于均值  $m$  的波峰位置确定水稻秧苗在图像条上的定位点横坐标(纵坐标由图像条决定)。

$s(j)$  曲线在水平线  $y=m$  以上的区域为定位区域,本研究检测定位点按如下步骤进行。(1)对于每个图像条的  $s(j)$  曲线从左至右逐点扫描,若  $s(j-1) < m < s(j+1)$ , 则  $s(j)$  为上升点,记为  $x_n (n=1, 2, 3, \dots)$ ; 若  $s(j-1) > m > s(j+1)$ , 则  $s(j)$  为下降点,记为  $x_m (m=1, 2, 3, \dots)$ 。(2)由于秧苗叶部图像不规则,  $s(j)$  曲线抖动剧烈,即在图像中表现为一处秧苗的地方但在  $s(j)$  曲线上存在多个定位点,所以获得这些点中存在伪定位点,设  $d$  为所有相邻上升点和下降点之差的均值,则:若  $x_m - x_{m-1} > d$  则该点为定位点,否则为伪定位点;若  $x_n - x_{n-1} > d$ , 则该点为定位点。(3)将去除伪定位点的定位点记为  $X_{n1}, X_{n1}, X_{n2}, X_{n2}, \dots, X_{nm}, X_{nm}$ , 则作物行横坐标  $x_1 = (X_{n1} + X_{n1})/2, x_2 = (X_{n2} + X_{n2})/2, \dots, x_n = (X_{nm} + X_{nm})/2$ 。(4)从上至下扫描所有图像条,重复前3个步骤,获取整幅图像所有定位点存储在矩阵  $pd$  中。

$$s(j) = \sum_{i=1}^h P(i, j) \quad (6)$$

$$m = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^w s(j) \quad (7)$$

1.2.4 “断垄”的判断 用1.2.3的方法可以求出每一幅图像条上的定位点,但此时求得的每一图像条横坐标中尚未包含一行中“断垄”即秧苗缺失的信息,因此需要对“断垄”的信息进行判断。

(1)从下至上,从右至左扫描矩阵,求每行相邻数值平均差值  $d_1$ :

$$d_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} pd(i, j+1) - pd(i, j)$$

式中:  $n$  为矩阵每行中非零值个数。

(2)若相邻非零值  $pd(i, j+1) - pd(i, j) > 1.25 d_1$ , 则  $pd(j+1)$  右移, 否则  $pd(j+1)$  不移动。

(3)重复步骤(1)(2), 直到所有元素都不在移位。

(4)从上至下扫描所有图像条, 重复前3个步骤。

1.2.5 定位点的归类 为了能够合理确定定位线,需要对各个水平条上的定位点归类,本研究归类方法按如下步骤进行。

(1)从下至上,从左至右扫描每行:

$$d_2=\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n-1}pd(i,j+m+1)-pd(i,j)$$

式中:pd 为经过 1.2.4 节计算得到的矩阵;n 为矩阵每行中非零值个数;m 为相邻非零值中含有零值的个数。

(2)如果  $pd(i-1)$  和  $pd(i,j)$  不等于零,且  $|pd(i,j)-pd(i-1,j)|>0.75d_2$ ,若  $pd(i-1)>pd(i,j)$ ,则  $pd(i-1)$  行的值右移,否则  $pd(i-1)$  行的值左移。

(3)重复步骤(1)(2),直到所有元素都不在移位。

(4)从上至下扫描所有图像条,重复前 3 个步骤。

1.2.6 垄线的拟合 将定位数组中的每一列值与图像条所在列坐标进行回归,得到的直线将视为作物行的中心线,即插秧机导航的基准线。在进行拟合时,由于断垄的存在,会影响拟合的精度,所以在拟合前对数组中零点所对应的列坐标不进行拟合计算,这样会获得更好的拟合精度。由于样本容量比较小,采用稳健回归比最小二乘法更多地减小异常点的影响,本研究采用前者对定位点进行拟合。

2 结果与分析

本研究对待处理的水稻稻田图像中水稻秧苗行采用上述算法进行识别。共划分 10 条图像条。拟合结果如图 6,在图像中,从左至右共拟合出 5 条基准线,各基准线参数如表 1。在图像的右上角,还有一条肉眼可见的垄线未拟合出来,分析原因为:在提取定位点时,定位点较少,拟合直线误差比较大,故省略该直线。由图 6 可知,拟合出的基准线基本上反应了水稻秧苗中心位置,与人工判断垄线位置基本相符。为了评价基准线拟合效果,本研究采用人工观察秧苗行,根据经验在图像上绘出秧苗行中心线,作为水稻插秧机导航的基准线,并将这条线与采用垂直投影法识别出基准线比较,评价算法拟合的精度,结果表明(表 2),平均误差为 5 个像素,最大误差为 25 个像素,平均误差率为 0.78%,最大误差率误差率小于 5%。此外,又使用该方法提取了 20(其中包括晴天/阴天和顺光/逆光的光照条件)幅水稻稻田图像的水稻秧苗基准线 75 条,平均误差率为 2.33%,证明该方法有效( $r=|x_1-x_2|/x$ , $r$  为误差率, $x_1$  为算法拟合得到的横坐标值, $x_2$  为人工拟合得到的横坐标值, $x$  为图像宽度)。

表 1 水稻稻田图像拟合基导航基准线参数  
Table 1 The parameter of fitting directrix of paddy field image

参数 Parameter	1	2	3	4	5
截距 Intercept(b)	1034	2241.5	1301.6	-5178.7	-2943.5
斜率 Slope(k)	-1.7	-2.8	-1.3	4.4	2.1

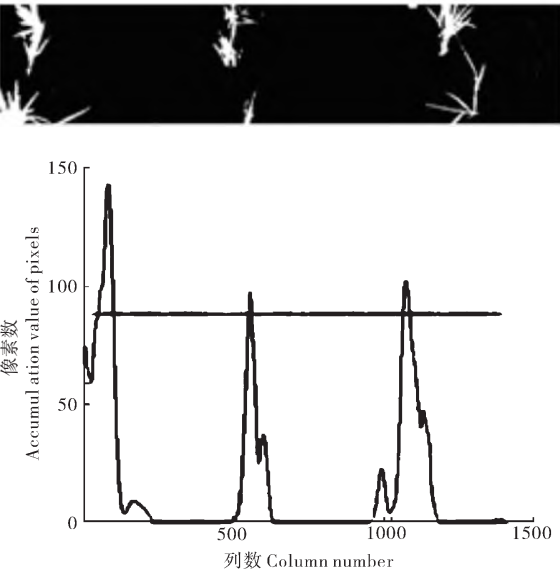


图 5 划分后的图像条及其对应的投影曲线  
Figure 5 Strip of image and its vertical projection curve



图 6 水稻稻田图像导航基准线拟合效果  
Figure 6 The fitting directrix of paddy field image

表2 水稻稻田图像拟合导航基准线拟合精度  
Table 2 The accuracy of fitting directrix of paddy field image

纵坐标 Longitudinal coordinate	算法拟合得到的横坐标 Abscissa fitted by the algorithm					人工拟合得到的横坐标 Abscissa fitted by manual					坐标差值 Difference value				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50	161	245	322	384	469	165	238	313	384	457	4	7	9	0	12
100	133	225	316	395	490	133	220	308	395	481	0	6	8	0	9
150	106	206	310	406	511	102	201	304	405	506	4	5	7	1	5
200	77	186	305	417	533	70	183	299	416	531	7	3	5	1	2
250	50	167	299	428	554	39	165	295	427	555	11	2	4	1	1
300	22	147	293	439	575	7	147	291	437	580	15	1	2	2	5
350	—	128	287	450	597	—	128	286	448	605	0	1	1	2	8
400	—	108	281	461	618	—	110	282	459	629	0	2	1	3	12
450	—	88	276	472	639	—	92	278	469	654	0	3	2	3	15
500	—	69	270	483	660	—	74	273	480	679	0	5	3	3	18
550	—	49	264	495	682	—	55	269	491	703	0	6	5	4	22
600	—	30	258	506	703	—	37	264	501	728	0	8	6	4	25

### 3 结论与讨论

本研究比较了水稻稻田中秧苗、水、秸秆残茬、泡沫和泥等的图像的 R、G、B 像素值,分析了在 RGB 彩色空间、HIS 彩色空间和  $I_1I_2I_3$  彩色空间的差异,确定以  $I_1I_2I_3$  彩色空间的  $I_3$  分量分割水稻稻田图像。采用  $I_1I_2I_3$  正交彩色空间  $I_3$  分量灰度值,最大类间方差法分割水稻稻田图像,得到二值图像。并在分割后的二值图像上添加掩膜,去除图像左右边角处细小断垄对图像定位点提取精度的影响。用改进的垂直投影法提取秧苗图像的定位点,去除伪定位点,采用稳健回归法进行拟合,得到了水稻稻田图像水稻秧苗垄行基准线,精度较高,误差率小于 5%。

基于垂直投影法提取水稻稻田图像导航基准线,总体达到预期目标。垂直投影法是目前农业机器视觉领域提取特征点的有效方法之一,但在检测作物行时,存在容易受到作物行断行干扰及定位点归类困难等问题<sup>[19,24]</sup>。本研究在利用垂直投影法提取作物行研究基础上<sup>[10,22,29]</sup>,探索采用差值均值法判断行间是否断行,检测断点,结果表明该方法明显提高定位精度。本研究在探索采用近邻法对定位点正确归类,较好地解决了图像中大斜率作物定位点正确归类困难的问题,其他学者的研究<sup>[20]</sup>也证明了该方法是解决此类问题的有效途径。当水田周围风力较大时,秧苗形状出现整体变形<sup>[20]</sup>,这将造成检测出的秧苗列中心线出现偏差,如何准确修正误差还有待今后进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] REID J F, QIN Z, NOBORU N, et al. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 133–153.
- [2] TORRI T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 155–167.
- [3] KEICHER R, SEUFERT H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 169–194.
- [4] WILSON J N. Guidance of agricultural vehicles—a historical perspective[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 3–9.
- [5] 李建平, 林妙玲. 自动驾驶技术在农业工程中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 232–236.
- [6] CHEN B, WATANABE K, TOJO S, et al. Studies on the computer-eye of rice transplant robot. Part 2. Detection of rice plants line using hough transformation[J]. Jpn Soc Agric Mach, 1997, 59(3): 23–28.
- [7] CHEN B, TOJO S, WATANABE K. Machine vision based guidance system for automatic rice transplanters[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(1): 91–97.
- [8] YUTAKA KAIZU, KENJI IMOU. A dual-spectral camera system for paddy rice seedling row detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 63: 49–56.

- [9] 杨庆华,吴佳艺,鲍官军,等.农林环境机器视觉导航路径生成算法及应用[J].农业机械学报,2009,40(3):147-151.
- [10] 毛可骏,周平,赵匀,等.基于机器视觉的自主插秧机导航信息的提取研究[J].农机化研究,2009,5(5):63-66.
- [11] 陈娇,姜国权,杜尚丰,等.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.
- [12] 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,2009,23(7):122-126.
- [13] 张志斌,罗锡文,臧英,等.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.
- [14] REID JF,SEARCY SW.Detecting Crop Rows Using the Hough Transform[C]//ASAE Summer Meeting,College Station Texas,1986.
- [15] HAN S,ZHANG Q,NI B,et al.A guidance directrix approach to Vision-based vehicle guidance systems [J].Computers and Electronics in Agriculture,2004,43(3):179-195.
- [16] SONG JQ.A hough transform based line recognition method utilizing both parameter space and imagespace [J].Pattern Recognition,2005,38(4):539-552.
- [17] 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.
- [18] 王晓燕,陈媛,陈兵旗,等.免耕覆盖地秸秆行茬导航路径的图像检测[J].农业机械学报,2009,40(6):158-163.
- [19] 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):163-167.
- [20] 张勤,黄小刚,李彬.基于彩色模型和近邻法聚类的水田秧苗列中心线检测方法[J].农业工程学报,2012,28(17):163-171.
- [21] H T SΦgaard.Determination of Crop Rows by Image Analysis Without Segmentation [J].Computers and Electronics in Agriculture,2003,38:141-158.
- [22] 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,2007,47(2):206-209.
- [23] 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.
- [24] 张志斌,罗锡文,周学成,等.基于 Hough 变换和 Fisher 准则的垄线识别算法[J].中国图象图形学报,2007,12(12):2164-2168.
- [25] OHTA.Color information for region segmentation[J].CGIP,1980,13:222-241.
- [26] 迟德霞,任文涛,刘金波,等.基于模糊 C 均值聚类的水稻秧苗图像分割[J].沈阳农业大学学报,2013,44(6):787-792.
- [27] 吕小莲.基于四自由度西红柿采摘机器人视觉系统的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2008.
- [28] 安秋,李志臣,姬长英,等.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.
- [29] 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.

[责任编辑 亓 国]