

## 基于 Meanshift 和 Hough 变换的秧苗行中心线提取

金海龙<sup>a</sup>, 喻擎苍<sup>b</sup>, 周志宇<sup>b</sup>, 武传宇<sup>a</sup>

(浙江理工大学, a. 机械与自动控制学院; b. 信息学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 针对传统的作物中心线提取方法易受作物种植间隙和噪声的影响,利用 Meanshift 算法能有效去除作物种植间隙和细小噪声的影响和 Hough 变换抗干扰能力强的特点,提出基于 Meanshift 和 Hough 变换的秧苗行中心线提取方法。该算法首先对水稻图像进行超绿变换(2G-R-B)和阈值处理,成功分离了目标与背景、减少了噪声并且提取出秧苗行的二值图像;然后对二值图像应用 Meanshift 算法去除叶片间的间隙和细小的噪声;最后应用 Hough 变换提取出秧苗行中心线。实验结果表明:相对传统的作物中心线提取方法,该算法获得的结果鲁棒性好,精确度高。

**关键词:** 秧苗; 2G-R-B; Meanshift 变换; Hough 变换; 中心线提取

**中图分类号:** TP319 **文献标志码:** A

### 0 引言

随着水稻需求量增大,水稻自动种植成为农业自动化发展重点。因水稻生长环境的特殊性,秧苗行中心线提取是水稻自动种植的关键技术,主要分为秧苗目标与农田背景的分离和秧苗行中心线直线特征提取两步。在水田图像处理中,由于植株间隙、波纹和光照等问题,使得中心线提取非常困难。在目标分离方面,美国伊利诺斯州立大学的 Han 等<sup>[1]</sup>利用贝叶斯分类器分离了棉花和农田背景;南京农业大学的王玲等<sup>[2]</sup>采用 HIS 和  $L^*a^*b$  彩色空间,基于形态学去噪,分离了棉籽和农田背景;中国农业大学赵颖等<sup>[3-4]</sup>根据农田颜色特点进行图像分割;针对不规整农田环境,南京农业大学的周俊等<sup>[5-6]</sup>提出用小波变换改变图像分辨率,再经过边缘检测和阈值分类得到不同分辨率下作物行的轮廓。上述方法算法复杂,处理速度慢。Søgaard 等<sup>[7]</sup>提出在 RGB 颜色空间进行超绿变换(2G-R-B),将图像灰度化,分离了玉米和农田背景;南京农业大学的安秋等<sup>[8]</sup>利用颜色恒常性原理处理农业机器人视觉导航中的光照问题,然后利用 2G-R-B 变换进行目标分离;上

述增大 G 值减少 R 和 B 值的超绿变换(2G-R-B)算法简洁,实用性强,较为适合农田图像处理。目标分离后,已有文献常采用 Sobel 和 Canny 算子进行边缘提取,如山东理工大学的张辉等<sup>[9]</sup>通过 6 方向模板 Sobel 边缘算子提取叶片边缘;程有娥等<sup>[10]</sup>利用 Canny 算子提取了大米的边缘。但由于种植间隙、光照不均匀等干扰,2G-R-B 变换后的图像含有噪声,不适合直接进行边缘提取。Meanshift 变换是作为一种全局迭代运算,对图像的分类是基于像素及周围像素点的变换趋势,而不是依据单个像素点的特征<sup>[11]</sup>,这种特征能有效去除田间的各种细小噪声和秧苗种植间隙等对图像产生的干扰,利于后续的中心线提取。针对提取陆地作物中心线,Nørremark 等<sup>[12]</sup>提出使用正弦函数模板匹配灰度曲线去检测作物行中心线,但此方法对图像质量要求较高;Hough 变换作为图像处理中识别几何形状的基本方法,主要用于提取图像中形状确定的目标。相比于其他检测算法 Hough 变换具有较强的鲁棒性;Bandera 等<sup>[13]</sup>提出了一种先运用 Hough 变换寻找有可能成为中心线的线段,然后用聚类算法将这些线段聚类从而提取中心线。Ji 等<sup>[14]</sup>提出了一种

收稿日期: 2014-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51375460)

作者简介: 金海龙(1988-),男,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要从事农业视觉导航方面的研究。

通信作者: 喻擎苍, E-mail: qcyu@zstu.edu.cn

基于特征分布的 Hough 变换,无需对原始图像进行预处理。可见 Hough 变换是中心线提取研究重点。针对水田图像的秧苗行中心线提取,本文设计了一种将 Meanshift 算法和 Hough 变换相结合,对 2G-R-B 变换后的图像进行中心线提取算法。

本文首先通过 2G-R-B 变换将图像灰度化,并采用阈值处理方法去除细小噪声;然后,将图像进行 Meanshift 运算,去除作物种植间隙和残余噪声,然后利用 Hough 变换提取作物中心线;实验中,以水稻图像为研究对象,分析了噪声较大、光照强度高等各种水田易出现情况的图像,并将本文设计的算法与先 Canny 算子边缘提取后 Hough 变换的算法进行对比;最后,对实验结果进行对比分析,给出了结论。

## 1 2G-R-B 图像灰度化和阈值处理

灰度图像获取质量直接影响到后续中心线提取的效果。晴天采集的水稻早期生长图像如图 1 所示。作物行 G 值高,而背景则 R 和 B 值高。为了增大目标作物和背景的分异性,减少后期数据处理的信息量,本文采用 2G-R-B 方法进行图像灰度化,如图 2 所示。经过 2G-R-B 变换,分离了目标与背景、去掉了大噪声的干扰。变换后在图像底部仍有由波纹产生的白色噪声及由作物周围倒影产生的噪声,因而本文再进行阈值处理,经处理后的图像如图 3 所示。由图 3 可见,经阈值处理后,图像底部由波纹产生的白色噪声及作物周围的倒影噪声得到较好的去除。



图 1 原始图像



图 2 2G-R-B 灰度化反色图像

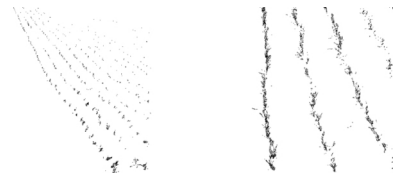


图 3 阈值处理后的图像

## 2 种植间隙和细小噪声的 Meanshift 算法去除

给定  $D$  维空间  $R^D$  中的样本集合  $\{x_i\}, i=1, 2, \dots, n$ , 则样本点  $x$  关于核函数  $K(x)$  和带宽矩阵  $H$  的核函数密度估计可以表示为:

$$f(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_H(x - x_i) \quad (1)$$

其中:  $K_H(x) = |H|^{-\frac{1}{2}} K[|H|^{-\frac{1}{2}} x]$ ,  $H$  表示  $D \times D$  带宽矩阵。

定义  $h$  为核函数每次处理的窗口长度,则可用比例单位矩阵  $h^2 I$  来表示  $H$ , 因此核函数密度估计公式(1)可以表达为:

$$f(x) = \frac{1}{nh^D} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (2)$$

采用剖面函数  $k$  来表达核函数, 则有  $K(x) = k(\|x\|^2)$ , 式(2)写成关于核函数的轮廓函数形式:

$$f(x) = \frac{c_k}{nh^2} \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x - x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (3)$$

式中  $c_k$  为归一化常量。

由式(1)~(3)可见,核函数是一种权值函数,其作用是将每个样本点按到中心  $x$  点距离的远近进行加权。距离中心点近的样本点概率密度估计影响大,赋予大的权值,反之则赋予小的权值。由核函数估计出来一个样本集合概率密度,根据此概率密度,分析数据集中密度最大的数据的分布位置。

对密度轮廓函数式(3)求导:

$$\begin{aligned} \nabla f(x) &= \frac{2c_{k,d}}{nh^{d+2}} \sum_{i=1}^n \left[ (x - x_i) k' \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right) \right] = \\ &= \frac{2c_{k,d}}{nh^{d+2}} \left[ \sum_{i=1}^n g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right) \right] \left[ \frac{\sum_{i=1}^n x_i g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^n g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right)} - x \right] \end{aligned} \quad (4)$$

其中:  $g(x)$  为核函数,  $x$  为当前处理点。

令导数  $\nabla f(x) = 0$ , 则可以得到概率密度最大的点  $x$  为:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^n g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (5)$$

设函数  $m_h(x)$ , 令

$$m_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^n g \left( \left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (6)$$

定义  $M_h = m_h(x) - x$ , 则  $M_h(x)$  为 Meanshift

向量,将一个大小为  $h$  的窗口定义为要处理的范围,依据窗口内像素点的位置赋给不同的比重值。求这些点值的加权平均,然后求出二者差值,当两者差值小于一个设定值( $\epsilon$ )时停止运算。两者差值反映了当前点的梯度变换。由此可见  $m_h(x_t) = M_h(x_t) + x_t = x_{t+1}$ ,  $x$  点向着密度大的方向移动。点在密度小的地方,移动速度快,在密度大的地方,移动速度慢,最终 Meanshift 算法收敛于一个  $m_h(x)$ 。由于 Meanshift 算法决定了  $M_h(x)$  会向着像素值最大的方向移动,所以最终会使得核函数  $g(x)$  移动到像素值最大位置。最终收敛到的点具有概率密度的近似零梯度。

Meanshift 滤波迭代运算过程如图 4 所示。

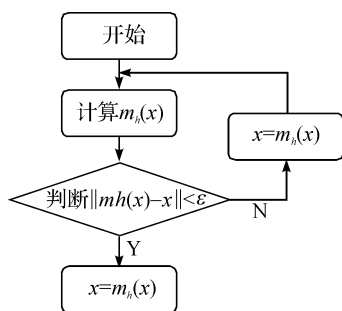


图4 Meanshift 滤波迭代算法流程

上述迭代停止时,就能够找到符合要求的初始  $x$  的  $m_h(x)$  值,将  $m_h(x)$  赋值给  $x$ 。对每个像素点都进行这样的操作,完成整个图像的 Meanshift 迭代运算。

农作物图像经过 Meanshift 运算以后会出现聚类团块。针对以上描述 Meanshift 函数,选取高斯函数作为核函数  $g(x)$ ,图 3 经过 Meanshift 变换后图像如图 5 所示。



图5 Meanshift 变换后图像

由图 5 可见,图像中秧苗间隙比较大的问题得到有效的缓解,从而为后面的 Hough 变换提供了较好的图像基础。

### 3 秧苗中心线的 Hough 变换提取

Hough 变换的基本思想是利用点—线的对偶性,将参数平面映射到极坐标中。本文将二值化图像中像素等于 1 的  $n$  个点转换为极坐标的  $n$  条曲

线,利用这  $n$  条曲线在一定范围的一个或几个交点,确定一条或几条直线。具体算法如下:

a) 扫描经 Meanshift 变化后的二值图,将图像中所有像素为 1 的点转化到  $\alpha\rho$  平面上;

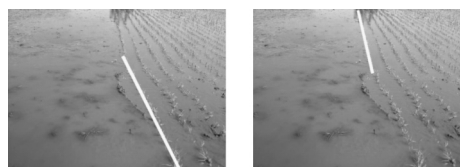
b) 将  $\alpha\rho$  平面划分成网格,在  $a \in 0 \sim 180^\circ$  时,根据公式  $\rho = x \cos(a) + y \sin(a)$  计算半径  $\rho$  的值,其值落在某个网格内,便使该网格的累加计数器加 1;

c) 对所有网格的累加计数器进行比较,得到次数最大的网格  $(\alpha, \rho)$ ,并将该网格映射到直角坐标中获取相应的直线。

## 4 实验结果与分析

实验采用晴天采集的水稻早期生长图像,像素为  $1632 \times 1224$ 。将经过 Meanshift 算法聚类 and 常规的农田图像处理方法(将 RGB 图像二值化后边缘提取)的图像,分别进行 Hough 变换处理,并对结果进行比较分析(常规算法的边缘提取采用 Canny 算子)。后续的 Meanshift 算法中  $\epsilon$  均取 0.1。

秧苗因为种植中的不规范操作造成作物行弯曲,如图 6 所示。对弯曲且存在噪声的作物行图像,经过 Meanshift 变换或 Canny 算子后运用 Hough 变换都可以提取作物行的部分中心线,但经过 Meanshift 算法处理图像后 Hough 变换提取的直线(如图 6(a))距离摄像机较近,对于导航具有更高的参考价值,且长度大于经过 Canny 算子边缘处理后运用 Hough 变换提取的直线(如图 6(b))。



(a) 本文算法

(b) 对比算法

图6 秧苗行比较弯曲的实验结果

水田环境复杂,存在淤泥、倒影和波纹等干扰,如图 7 所示,图 7 中距摄像机近的部分,秧苗倒影和波纹比较清晰,同时还存在大量的淤泥。经过 2G-R-B 和阈值处理后上述噪声仍不能得到消除, Canny 算子不能很好去除作物周围的噪声影响,所以经 Canny 算子处理和 Hough 变换不能提取出距离摄像机较近部分秧苗的中心线,如图 7(b)。图 7(a)为经 Meanshift 变换后再通过 Hough 变换提取的直线,其结果明显优于前者。

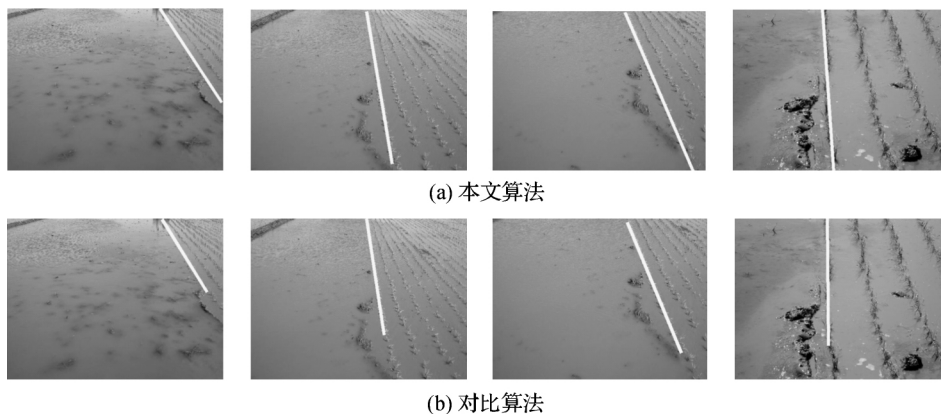


图 7 噪声严重秧苗的实验结果

由于光照和天气的原因易造成提取的图像中存在阴影,如图 8 所示。图像中存在较大的阴影、秧苗种植的比较稀疏、秧苗有少许弯曲。图 8(a)列为经 Meanshift 算法处理后 Hough 变换提取直线的结果,算法比较准确地提取出了目标直线。图 8(b)为经 Canny 算子处理后提取的直线结果,直线出现了间断。

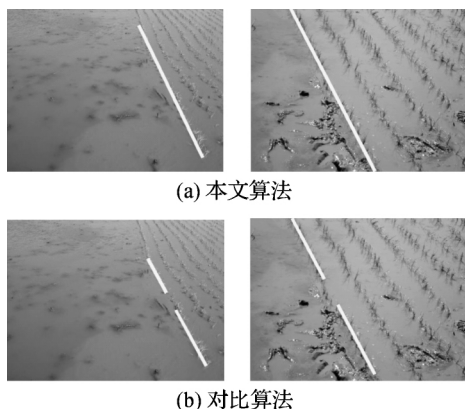


图 8 秧苗背景变化较大的实验结果

作物种植时因操作不当易造成秧苗间隙过大。图 9 为在光照比较均匀、秧苗的种植间隙较大情况下的实验结果。如图 9(a)图像经过 Meanshift 算法后,在利用 Hough 变换提取的直线效果较好。而经过 Canny 算子边缘提取在利用 Hough 变换提取的直线偏离了最左侧秧苗行且存在较多间断,如图 9(b)所示。

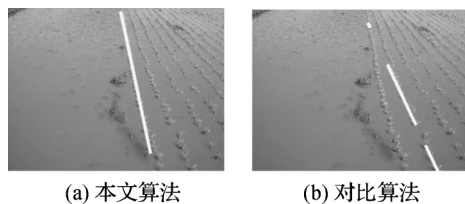


图 9 间隙较大秧苗的实验结果

在光照强度较高的情况下,水田中的波纹和阳光的散射是影响作物中心提取的首要因素。如图 10 所示,图像底部淤泥部分散射光照较强。Meanshift 和

Hough 变换的算法组合很好地提取出了秧苗的中心线(如图 10(a)),而 Canny 和 Hough 变换的组合因为 Canny 算子不能很好的去除光照影响,没能完整地提取出秧苗中心线(如图 10(b))。

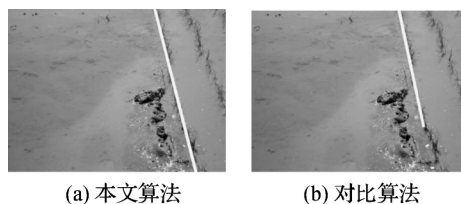


图 10 强光照下秧苗的实验结果

农田图像中存在的噪声往往不是单一的,如图 11 中图像光照不均匀、阴影较多、秧苗的种植间隙较大且波纹较多。但如图 11(a)所示,经过 Meanshift 变换后提取的直线依然很理想。图 11(b)为经过 Canny 算子处理后提取的直线,直线存在间断,效果较差。

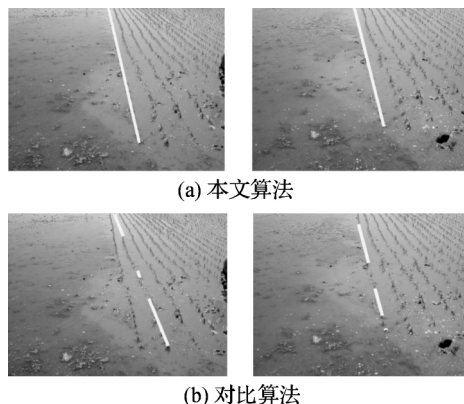


图 11 复杂环境图像的处理结果

## 5 结 论

针对传统的作物中心线提取方法易受作物种植间隙和噪声的影响,本文利用 Meanshift 算法能有效去除作物种植间隙和细小噪声的影响和 Hough 变换抗干扰

能力强的特点,提出了基于 Meanshift 和 Hough 变换的秧苗行中心线提取方法。实验结果表明:

a) 本算法对水稻图像进行 2G-R-B 变换和阈值处理,成功分离了目标与背景、减少了噪声,并且提取出秧苗行的二值图;

b) Meanshift 算法相比于边缘提取算法,能够更好的去除水田图像噪声、更加适用于水田图像的分割;

c) Meanshift 和 Hough 变换的算法组合相对于传统的边缘提取方法和 Hough 变换的算法组合,能够更好地应对水田光照不均匀、作物种植间隙大等问题,具有更好的鲁棒性,精度更高。

由上述实验结果可以看出 Meanshift 和 Hough 变换的算法组合相比于常规的边缘提取方法和 Hough 变换的算法组合具有更好的鲁棒性,能够更好地解决噪声、作物种植弯曲和光照不均匀等问题带来的不利影响,因此能较好地适用于水田农作物秧苗中心线的提取。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王 玲, 王 萍, 陈兵林, 等. 基于颜色阈值的田间籽棉图像分割技术[J]. 作物学报, 2010, 36(3): 502-507.
- [3] 赵 颖, 陈兵旗, 王书茂. 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.
- [4] 赵 颖, 王书茂, 陈兵旗. 基于改进 Hough 变换的公路车道线快速检测算法[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(3): 104-108.
- [5] 周 俊, 姬长英. 农业机器人视觉导航中多分辨率路径识别[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 120-123.
- [6] 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.
- [7] Sogaard H T, Olsen H J. Determination of crop rows by image analysis without segmentation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38: 141-158.
- [8] 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(11): 208-212.
- [9] 张 辉, 马明建. 基于改进 Sobel 算法的叶片图像边缘检测[J]. 农机化研究, 2012(5): 46-48.
- [10] 程有娥, 钱月晶, 张永刚. 基于 Canny 算子的大米边缘检测[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(5): 206-209.
- [11] Wang J, Thiesson B, Xu Y, et al. Image and video segmentation by anisotropic kernel mean shift[C]// Computer Vision-ECCV 2004. Prague, Czech Republic: Springer Berlin, 2004: 238-249.
- [12] Nørremark M, Olsen H J, Andreassen N W, et al. The development of a computer vision based and real-time plant tracking system for dot spraying[C]//JIAC (Joint International Agricultural Conference)-7th European Conference on Precision Agriculture, 2009: 777-784.
- [13] Bandera A, Pérez-Lorenzo J M, Bandera J P, et al. Mean shift based clustering of Hough domain for fast line segment detection [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(6): 578-586.
- [14] Ji J, Chen G, Sun L. A novel Hough transform method for line detection by enhancing accumulator array [J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(11): 1503-1510.

## Extraction of Center Line of Rice Seedling Row Based on Meanshift and Hough Transform

JIN Hai-long<sup>a</sup>, YU Qing-cang<sup>a</sup>, ZHOU Zhi-yu<sup>b</sup>, WU Chuan-yu<sup>a</sup>

(a. Faculty of Mechanical Engineering & Automation; b. the School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Traditional center line extraction method of crops is easily affected by the crop planting clearance and the noise. Meanshift algorithm can effectively remove influence of crop clearance and small noise and Hough transform has a strong anti-interference ability. Thus, this paper proposes center line extraction method of rice seedling based on Meanshift transform and Hough transform. This algorithm first carries out 2G-R-B transform and threshold processing for rice image, successfully separates the target and background, reduces noise and extracts binary image of rice seedling row. Then, Meanshift algorithm is applied for binary image to remove gap among leaves and small noise. Finally Hough transform is applied to extract center line of rice seedling row. The results show that this algorithm can gain good robustness and high accuracy compared with traditional crops.

**Key words:** rice seedling; meanshift transform; hough transform; center line extraction

(责任编辑: 陈和榜)