

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.007

# 基于改进遗传算法的农机具视觉导航线检测<sup>\*</sup>

孟庆宽<sup>1</sup> 张漫<sup>1</sup> 仇瑞承<sup>1</sup> 何洁<sup>1</sup> 司永胜<sup>2</sup> 刘刚<sup>1</sup>

(1. 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;

2. 河北农业大学信息科学与技术学院, 保定 071001)

**摘要:** 针对机器视觉导航系统现有导航线提取算法检测速度慢、抗干扰性差等不足, 提出一种基于改进遗传算法(IGA)的导航线检测方法。图像中作物行走近似为一条直线, 从图像顶边和底边分别随机选一个点进行染色体编码, 通过遗传进化选择适应度最高的个体作为作物行直线编码, 进而得到导航线。改进遗传算法采用概率保留法和最优保存策略相结合的方法作为选择算子, 提高了算法的搜索效率和精度; 通过自适应调整交叉概率和变异概率, 提高了算法的收敛速度和全局搜索能力。动态导航跟踪试验表明, 改进的遗传算法与标准霍夫变换、标准遗传算法(GA)在导航线提取性能上相比, 具有抗干扰性强、检测速度快等优点。当导航速度为 0.6m/s 时, 横向偏差最大值不超过 76 mm, 平均值小于 33.1 mm, 较好地满足了导航作业要求。

**关键词:** 农机具 改进遗传算法 视觉导航 直线检测

**中图分类号:** TP242.6<sup>+</sup>2; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0039-08

## 引言

机器视觉导航具有非接触测量、较宽光谱响应范围、信息丰富完整、使用灵活等优点。基于机器视觉的农业机械自动导航技术已经成为精准农业领域的一个研究热点, 在田间除草、自动施肥、作物收获和果实采摘等方面有着广泛应用<sup>[1-2]</sup>。农机视觉导航系统自动获取农田图像信息后, 都要对图像进行分析处理提取导航路径, 然后计算导航参数控制农机系统沿着目标路径行走作业。其中, 图像处理是农机视觉导航的基础, 快速准确提取导航基准线关系到导航系统的实时性和准确性。

早期农机视觉导航多采用标准 Hough 变换进行作导航线提取<sup>[3-5]</sup>, 在杂草噪声不大的农田环境中可以有效地对作物行进行直线检测, 但该方法存在算法复杂、计算量大、累加器峰值较难确定等问题。针对标准 Hough 变换存在的不足, 一些学者提出了改进 Hough 算法<sup>[6-8]</sup>, 这些算法在一定程度上降低了内存消耗, 提高了运算速度, 但应用于实际农田导航作业时在实时性和准确度方面仍需进一步提高。文献[9-10]分别采用最小二乘法和良序子集法进行导航参数提取, 然而最小二乘法由于对杂草噪声敏感易造成检测精度不高, 良序子集法因存在

搜索方向角范围和邻域难以准确设定的问题, 均导致算法可实施性差。

遗传算法作为一种全局优化搜索算法被应用于很多领域, 主要包括: 函数优化、调度问题、图像处理、自动控制等。农业机器人视觉导航技术属于图像处理范畴, 文献[11]提出了基于遗传算法的农业导行机器人视觉导航方法, 通过遗传算法对面-带模型位姿(位置和姿态信息)进行搜索, 实现模型匹配获取作物行间线方程。利用该方法进行导航线检测具有较好的实时性, 但也存在面-带模型尺寸难以设置、对目标与背景灰度差异要求明显等问题, 导致算法鲁棒性不高。文献[12]采用遗传算法进行作物行直线检测, 可以有效地实现作物行直线提取。不过该算法在进行作物行直线检测前, 需要进行作物特征点提取, 造成较多时间消耗, 故在实时性方面还有待进一步提高。

综上所述, 快速准确地提取导航路径是机器视觉导航系统要解决的一个关键问题。针对上述研究存在的不足, 本文提出一种基于改进遗传算法的导航线提取方法, 利用遗传算法较强的全局搜索能力和方向性搜索, 增强直线检测鲁棒性。针对标准遗传算法存在的不足, 通过对遗传交叉算子和变异算子进行改进, 克服标准遗传算法收敛速度慢、局部搜

收稿日期: 2013-12-09 修回日期: 2014-02-17

<sup>\*</sup> 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA101901)

作者简介: 孟庆宽, 博士生, 主要从事农业自动化图像信息处理研究, E-mail: 373414672@qq.com

通讯作者: 张漫, 副教授, 博士, 主要从事农业电气化与自动化研究, E-mail: cauzm@cau.edu.cn

索能力弱、容易出现早熟等问题,提高直线检测速度与精度。

## 1 遗传算法基本原理及改进

### 1.1 基本原理

遗传算法(Genetic algorithm, GA)最早由美国密歇根大学 Holland 教授提出,是模拟自然选择和遗传进化机制而形成的一种全局优化概率搜索算法<sup>[13]</sup>。遗传算法通过对问题解进行编码,从一个任意种群开始,经过选择、交叉、变异等操作产生新一代种群,利用适应度函数选择出优良个体进入下一代运算,经过多代运算,使种群最后收敛到问题最优解。

### 1.2 改进遗传算法

遗传算法在很多工程领域研究中都显示了良好性能,但也存在着收敛速度慢,容易早熟等不足<sup>[14]</sup>。本文从选择算子、交叉算子、变异算子等方面进行改进,使算法在搜索精度、收敛速度和局部寻优能力等方面有一定程度的提高。

#### 1.2.1 选择算子改进

选择算子通过适应度函数对个体优劣进行评价,根据适应度按照一定原则,从父代中选择适应度好的个体遗传给下一代,淘汰适应度低的个体,使种群向最优解的方向靠近。采用概率保留法和最优保存策略相结合的方法,既保证了种群个体收敛性又保证了种群多样性。首先,计算群体的平均适应度  $f_{\text{avg}}$  以及个体  $x_i$  适应度  $f_i$ ,如果

$$f_i > f_{\text{avg}} \quad (1)$$

则  $x_i$  予以保留,否则有

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^M f_i} \quad (2)$$

式中  $M$ ——适应度小于  $f_{\text{avg}}$  的个体数量

$P_i$ ——个体  $x_i$  的适应度与  $M$  个群体适应度之和的比值

生成一个 0 到 1 之间的随机数  $r$ ,如果  $P_i > r$  则  $x_i$  予以保留,否则将  $x_i$  淘汰。

运用最优保存策略对式(2)保留下的个体进行运算,具体步骤如下:

(1) 计算当代保留个体的适应度,找出  $k$  个适应度最好的个体。

(2) 将  $k$  个体适应度与到目前为止适应度最好的  $k$  个体相比较,适应度大的个体替代适应度小的个体。

(3) 将替代后的  $k$  个体放入子代中,进行交叉变异运算。

#### 1.2.2 交叉算子改进

传统遗传算法使用固定交叉概率进行进化,很难保证种群的多样性和收敛性。个体适应度小于种群平均适应度时,为保持种群个体多样性,加快个体更新,使用较大的交叉概率;个体适应度大于种群平均适应度时,个体集中在最优解附近,如果依然使用大的交叉概率,可能会降低适应度高的个体在群体中的比例,延缓收敛速度,为提高算法的收敛速度,应采用较小的交叉概率。综合以上因素,本文采用自适应的交叉算子,以个体适应度作为判断依据,交叉概率随着适应度的变化而变化。交叉概率  $P_c$  变化公式为

$$P_c = \begin{cases} P_{c2} - \frac{(P_{c2} - P_{c1})(f_{\text{avg}} - f_{cm})}{f_{\text{avg}} - f_{\text{min}}} & (f_{cm} \leq f_{\text{avg}}) \\ P_{c3} - \frac{(P_{c3} - P_{c2})(f_{\text{max}} - f_{cm})}{f_{\text{max}} - f_{\text{avg}}} & (f_{cm} > f_{\text{avg}}) \end{cases} \quad (3)$$

式中  $f_{\text{max}}$ ——种群中个体最大适应度

$f_{\text{min}}$ ——种群中个体最小适应度

$f_{cm}$ ——2 个交叉个体中较大的适应度

$P_{c1}$ —— $f_{cm} = f_{\text{min}}$  时交叉概率

$P_{c2}$ —— $f_{cm} = f_{\text{avg}}$  时交叉概率

$P_{c3}$ —— $f_{cm} = f_{\text{max}}$  时交叉概率

交叉概率  $P_c$  的自适应调整曲线如图 1 所示。

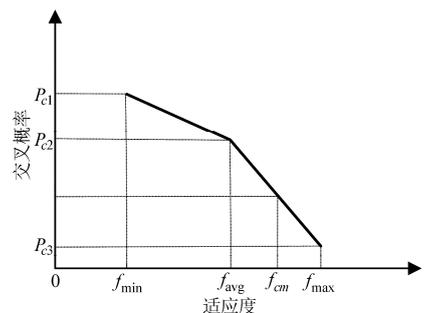


图 1 交叉概率自适应调整曲线

Fig. 1 Adaptive adjustment curve of crossover probability

#### 1.2.3 变异算子改进

变异算子是对染色体基因的某些位进行改变,对保持种群个体多样性起着重要作用。对变异算子的改进主要考虑两点:①个体适应度小于种群平均适应度时,使用大的变异概率,增加产生优良个体的概率;个体适应度大于种群平均适应度时,使用小的变异概率,增加算法的收敛速度。②二进制编码染色体各基因位所表示的权重不一样。染色体高位变异,产生的新个体与原个体差异较大;染色体低位变异,产生的新个体与原来个体差异较小。对适应度小于种群平均适应度的个体,进行高位变异,增强个体在搜索空间的扩散;

对适应度大于种群平均适应度个体,进行低位变异,提高算法局部寻优能力。设染色体位长为  $N$ ,  $N$  为奇数时  $[N, (N + 1)/2]$  为高位区,  $[(N + 1)/2 - 1, 0]$  为低位区;  $N$  为偶数时  $[N, N/2]$  为高位区,  $[N/2 - 1, 0]$  为低位区。

基于以上因素,设计了自适应交叉算子,交叉概率随着个体适应度调整。变异概率  $P_m$  为

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} & (f_i \leq f_{avg}) \\ P_{m2} - \frac{(P_{m2} - P_{m1})(f_{max} - f_i)}{f_{max} - f_{avg}} & (f_i > f_{avg}) \end{cases} \quad (4)$$

式中  $P_{m1}$  ——  $f_i \leq f_{avg}$  时变异概率

$P_{m2}$  ——  $f_i = f_{max}$  时变异概率

变异概率  $P_m$  的自适应调整曲线如图 2 所示。

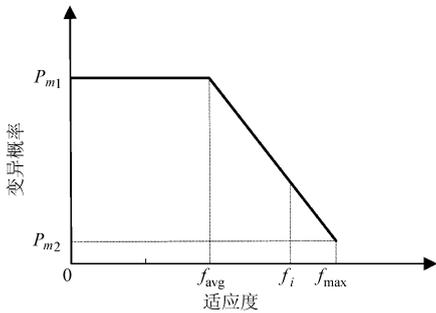


图 2 变异概率自适应调整曲线

Fig. 2 Adaptive adjustment curve of mutation probability

## 2 基于改进遗传算法的导航线检测方案

### 2.1 总体结构

农机具导航线检测总体方案流程如图 3 所示。图像预处理主要作用是消除杂草石块对导航线提取算法的影响并将作物行与土壤背景进行分割。由作物行位置信息提取求出作物行直线起点所在范围。根据作物行中心线方程计算出农机具导航线,然后对导航线位姿求解得到导航机具的横向偏差和航向偏差,最后将导航控制信息输出到执行机构实现导航跟踪作业。

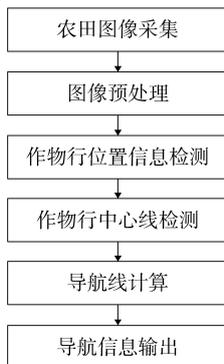


图 3 农机具导航线检测流程图

Fig. 3 Flow chart of farm machinery navigation line detection

### 2.2 图像预处理

图像预处理包括彩色图像灰度化和二值化,采用  $2G - R - B$  颜色特征因子对图像进行灰度处理<sup>[15-16]</sup>,使用 Otsu 法进行图像分割,将农作物信息从土壤、杂草等背景中提取出来<sup>[17]</sup>。图 4 为作物图像二值化处理结果。

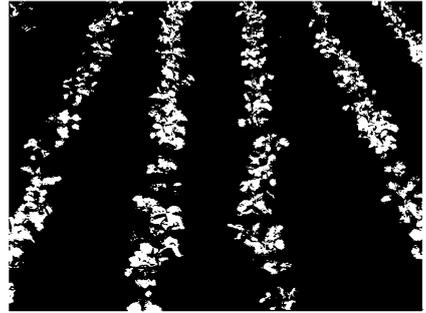


图 4 二值图像

Fig. 4 Binary image

### 2.3 作物行位置信息获取

通常视觉传感器采集的农田图像包括多行作物,采用基于图像灰度的垂直投影法检测作物行个数以及近似位置信息具有较强的抗干扰性<sup>[18]</sup>。首先对二值图像进行膨胀腐蚀,然后根据位置信息确定作物行直线起点范围。图 5 为作物行位置检测结果。



图 5 作物行位置检测结果

Fig. 5 Crop line position detection

### 2.4 作物行中心线识别算法

在基于机器视觉的农机导航过程中,视觉传感器采集的农田作物图像具有以下特点:①作物行走向呈近似直线并且相互平行,但由于相机视角的原因,作物行间距在图像底部距离较大,而在图像顶部距离较小。②作物行开始于图像底边,终止于图像顶边,通过底边和顶边上 2 个点可以确定作物行直线。

基于上述约束条件,设计基于改进遗传算法的作物行直线提取算法。其主要思想是,图像中作物行走向呈现近似直线,将图像底边点作为直线起点,顶边点作为直线终点,分别从顶边和底边各选 1 个数据点进行编码,编码后的染色体代表一条待检测

的直线,构造适应度函数判断直线的优劣程度,通过多次进化搜索寻找到适应度最高的个体,将此直线作为作物行中心线直线。具体算法设计如下:

### (1) 染色体编码

图像顶边和底边的数据点构成直线解空间,设图像底边点坐标为 $(x_i, 0)$ 代表直线起点,顶边点坐标为 $(x_j, h)$ 代表直线终点, $h$ 为图像高度,将 $(x_i, 0)$ 和 $(x_j, h)$ 进行编码构成染色体。为了减小编码长度,提高算法运算速度, $(x_i, 0)$ 在垂直投影法获取的作物行位置存储矩阵内选择。

### (2) 初始种群设定

群体规模太小,种群个体多样性不高,造成遗传算法搜索空间受限。群体规模太大,种群个体多样性增加,但使算法计算复杂度增加执行效率下降,本文设定初始种群个体数量为30。随机生成一定数量个体(为30的倍数),从中筛选优良个体放入到初始化种群内,直到种群个体数量达到要求。

### (3) 适应度函数构造

如果目标像素到一条直线的距离小于给定阈值 $d$ ,则认为目标点在直线上。通常距离一条直线 $d$ 范围内目标点数量越多,表示该直线距离作物行中心线越近,将适应度最高的染色体所代表的直线作为作物行中心线,本文适应度函数设计为

$$f = N \quad (5)$$

式中  $N$ ——距离直线 $d$ 范围内目标点个数

### (4) 选择算子

采用1.2.1节改进的选择算子作为选择算子。

(5) 遗传算子遗传算子包括交叉算子和变异算子,采用1.2.2节改进的交叉算子和1.2.3节改进变异算子进行遗传运算。

### (6) 终止条件

当算法进化到规定代数或满足收敛条件时,遗传算法输出参数 $(x_i, 0)$ ,  $(x_j, h)$ ,利用两点式可以计算出直线方程。

改进遗传算法作物行直线检测流程如图6所示。

## 2.5 导航线计算及导航信息输出

导航线方程可以根据相邻2条作物行直线方程计算得到,其反映的是作物行与农机具在图像坐标下的相对位置,要将其用于导航,需要对车辆相对位姿进行求解,计算出导航参数。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 试验平台

农机具导航试验平台如图7所示,主要由视觉

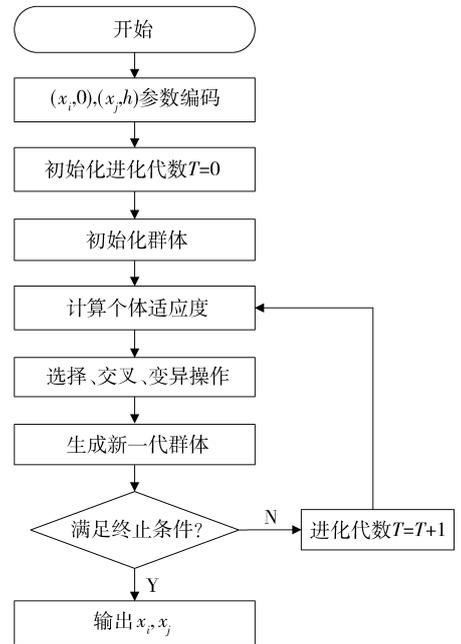


图6 改进遗传算法作物行直线检测流程图

Fig. 6 Flow chart of crop line detection based on improved genetic algorithm

传感器、工控机、横向位移控制器、液压系统和农机具组成。视觉传感器实时采集农田图像传输到工控机,工控机对图像进行处理分析完成路径识别和定位,输出导航信息。横向位移控制器根据导航信息控制液压系统运动,实现农机具对目标路径的自动追踪。

视觉传感器为美国灰点公司生产的 Zebra 2 型高分辨 CCD 彩色摄像头,图像输出格式为 bmp,尺寸为480 像素×640 像素,采用千兆网接口与外界进行数据传输,相机镜头选用 JVPM1216 型自动光圈镜头,可根据光照环境自动调节相机镜头入射光强,有效消除田间自然光照变化对图像处理的影响。工控机采用 Intel(R) HM65@ 3.0 GHZ 处理器,2 GB 内存,Windows 7 操作系统,导航程序运行环境为 VS2010。



图7 试验平台

Fig. 7 Experimental platform

为了对改进遗传算法导航线检测速度和精度做出评价,分别利用标准 Hough 变换<sup>[19]</sup>、标准遗传算法<sup>[20]</sup>和改进遗传算法进行导航线提取,试验对象为

大豆早期生长期。参数设置：标准 Hough 变换算法中， $\theta \in [-90^\circ, 90^\circ]$ ， $\rho \in [-800, 800]$ ，量化精度 0.5°， $\rho$  为直线到坐标系原点的距离， $\theta$  为直线法线与 X 轴的夹角。标准遗传算法中  $P_c = 0.5$ 、 $P_{m2} = 0.1$ 、 $d = 5$ ，终止条件为  $T = 50$  或  $N > 2000$ ；改进遗传算法中  $P_{c1} = 0.6$ 、 $P_{c2} = 0.4$ 、 $P_{c3} = 0.2$ 、 $P_{m1} = 0.15$ 、 $P_{m2} = 0.05$ 、 $d = 5$ 、 $k = 1$ ，终止条件为  $T = 50$  或  $N > 2000$ 。遗传算法中  $d = 5$  表示距离一条直线为 5 个像素点的空间， $T$  为进化代数，根据不同作物和不同

生长期取值在 1 600 ~ 4 000 之间。由于遗传算法的随机搜索特性，每次运行得到的直线参数和耗时都有所差别，所以用遗传算法进行 50 次检测，将 50 次检测结果取平均值作为最终结果。3 种方法检测结果如图 8 所示，直线参数如表 1 所示， $k_1$  表示直线斜率， $b$  表示直线截距。图 8 中虚线为算法检测出的导航路径，实线为距离图像中心最近的两条作物行中心线。从检测结果可以看出，3 种方法均可以正确检测出作物行中心线和导航线。

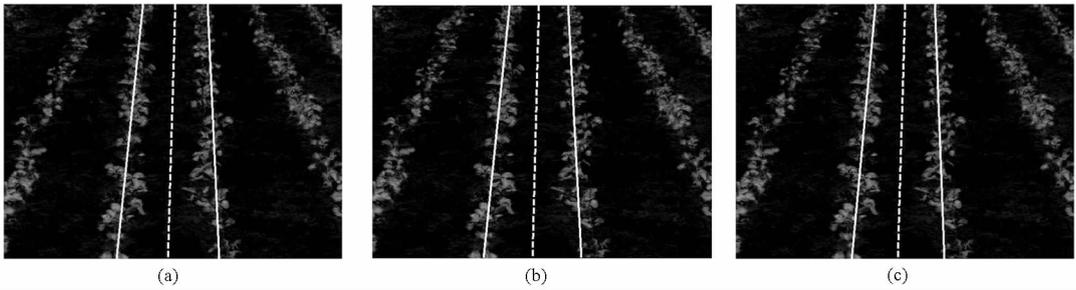


图 8 大豆导航线检测结果

Fig. 8 Navigation line detection of soybean

(a) Hough 变换 (b) 标准遗传算法 (c) 改进遗传算法

表 1 不同算法直线参数

Tab. 1 Results of linear parameter comparison

算法	左作物行		右作物行		导航线		消耗时间 /ms
	$k_1$	$b$	$k_1$	$b$	$k_1$	$b$	
标准 Hough 变换	-9.6	2 534.4	21.8	-8 421.8	-34.2	11 142.8	169
标准遗传算法	-8.8	2 337.7	17.1	-6 445.7	-37.1	11 778.4	107
改进遗传算法	-10.4	2 713.0	26.2	-10 053.3	-35.4	11 462.8	81

从表 1 可以得出，在时间消耗方面，Hough 变换所用时间最长，标准遗传算法次之，改进遗传算法耗时最少。在导航线准确度方面，改进遗传算法斜率  $k_1$  与 Hough 变换相差 1.2， $b$  相差 320；标准遗传算法的  $k_1$  和  $b$  与 Hough 变换分别相差 2.9 和 636。可以得出改进遗传算法耗时少，检测精度与 Hough 变换检测精度接近，优于标准遗传算法。

### 3.2 改进遗传算法适应性测试

利用改进遗传算法分别对不同类型作物行进行直线检测，检测作物包括玉米（杂草、缺株）和小麦，结果如图 9 所示。可以看出，改进遗传算法能够正确识别出不同类型作物行直线，对于包含杂草、缺株的作物行也具有很强的适应性。

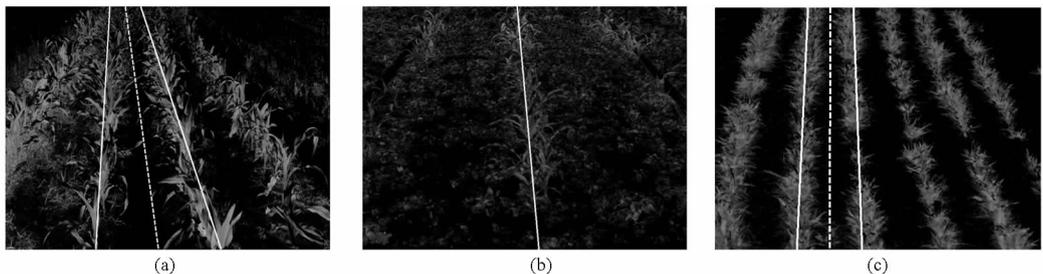


图 9 改进遗传算法对不同作物直线检测结果

Fig. 9 Results of IGA for different kind of crop

(a) 玉米田(杂草) (b) 玉米田(缺株) (c) 小麦田

### 3.3 作物行跟踪导航实验

为检测改进遗传算法动态跟踪性能，在河北农业大学玉米试验田进行了导航跟踪试验。试验玉米植

株高度约为 15 cm，导航农机具运行速度为 0.6 m/s，行走路径 40 m。导航跟踪结果如图 10 所示，试验参数如表 2 所示。Hough 变换最大横向偏差 79 mm，

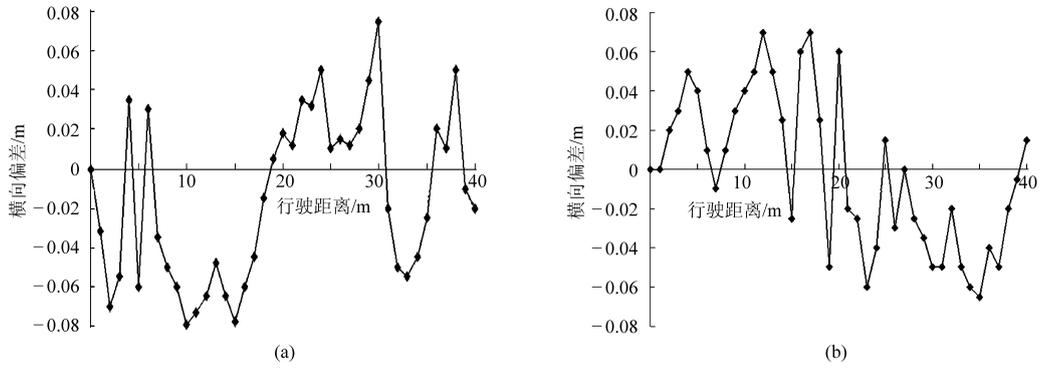


图10 农机具导航横向偏差

Fig. 10 Lateral deviation of farm machinery navigation

(a) 标准 Hough (b) 改进遗传算法

改进遗传算法最大横向偏差 76 mm, 两者横向偏差接近。改进遗传算法横向偏差平均值、标准差小于 Hough 变换, 说明基于改进遗传算法的导航线检测方法与 Hough 变换检测方法相比具有更好的准确性和稳定性。

表2 不同算法导航试验数据

Tab. 2 Experimental data of different algorithm

算法	最大横向偏差	平均值	标准差
标准 Hough 变换	79.0	40.5	22.5
改进遗传算法	76.0	33.1	20.6

### 3.4 算法性能比较

文献[11-12]对遗传算法在导航识别方面的应用做了研究, 取得了良好效果。将本文改进遗传算法与文献[11-12]算法在鲁棒性、可实施性和算法精度等方面进行比较, 以突出本文算法所具有的优势。

#### 3.4.1 本文算法与文献[11]算法对比

##### (1) 鲁棒性

使用文献[11]提出的算法进行导航线检测时, 要求灰度图像中目标和背景灰度有较大差异, 对于目标与背景不存在明显差异或者目标与背景灰度范围有较大重叠的情况, 算法无法准确地检测出导航线。而本文提出的导航线检测算法对二值图像进行处理, 不受目标与背景灰度差异影响, 具有较高的鲁棒性。

##### (2) 可实施性

文献[11]的算法没有给出面-带模型尺寸设置规则, 导致应用该算法进行导航时缺少必要的参数设置依据, 影响导航作业效果。本文算法给出了遗传算法相关参数设置规则, 进行导航作业时具有较高的可操作性。

##### (3) 算法精度

文献[11]的算法没有与 Hough 变换等常规导航线检测方法进行对比, 所以无法对算法检测精度

进行判断。本文算法通过与 Hough 变换进行比较, 证明具有较高的检测精度。

#### 3.4.2 本文算法与文献[12]算法对比

文献[12]算法进行作物行直线检测前需要对作物进行特征点提取, 耗费较多时间, 造成算法实时性降低, 处理一幅 640 像素 × 480 像素图片耗时约为 160 ms。本文算法直接对二值图像进行处理, 不需要进行特征点检测, 相比于文献[12]算法具有较高的实时性, 处理一幅 640 像素 × 480 像素图片耗时约为 80 ~ 90 ms。

### 3.5 农机具导航系统性能测试

利用农机具导航系统分别在不同光照强度 (120、180、220 lx)、作物高度 (10、20、30 cm)、导航速度 (0.4、0.6、1.0 m/s) 下进行田间导航试验, 将平均横向偏差作为衡量系统性能的指标。试验表明, 对于平均横向偏差指标, 速度因素对其影响非常显著, 原因是本文的导航控制系统仅将横向偏差 (由图像处理获取) 作为输入控制因子, 没有考虑农机行驶速度对于控制输出量的影响, 造成导航速度增加出现控制滞后。光照因素对平均横向偏差指标影响比较显著, 是因为光照变化造成图像分割效果不佳, 降低了导航系统路径识别的准确性和实时性。采用自动光圈相机虽然无法完全消除光照变化对于导航作业的影响, 但在一定程度上降低了光照变化对图像处理的不良影响, 提高了导航系统田间作业的适应能力。作物高度因素对平均横向偏差影响不显著, 表明本文算法对不同时期作物具有较好的鲁棒性和适应性。

## 4 结论

(1) 利用 2G-R-B 方法和 Otsu 法对彩色图像进行预处理, 消除杂草、石块对图像处理影响; 采用自动光圈相机采集图像一定程度上降低了自然光照变化对图像处理影响, 提高导航系统对环境的适

应能力。

(2) 对标准遗传算法选择算子、交叉算子、变异算子进行改进,提高了算法的全局搜索能力和收敛速度,将其应用于导航线检测,提高了导航线检测速度和适应性。

(3) 利用改进遗传算法进行导航,试验结果表明该算法可以快速准确地检测出导航路径,为车辆提供导航信息。车速为 0.6 m/s 时最大横向偏差不超过 76 cm,平均值为 33.1 mm,标准差为 20.6 mm,较好地满足了导航作业要求。

#### 参 考 文 献

- 迟德霞,王洋. 农业机械视觉导航基准线识别算法研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(2):11523-11526.  
Chi Dexia, Wang Yang. Research on the directrix recognition algorithm of vision navigation of agricultural machinery[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(2):11523-11526. (in Chinese)
- 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.  
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. (in Chinese)
- Reid J F, Searcy S W. Vision based guidance of an agricultural tractor[J]. IEEE Control Systems, 1987, 7(12):39-43.
- 张卫,杜尚丰. 机器视觉对农田中定位基准线的识别[J]. 中国农业大学学报,2006,11(4):75-77.  
Zhang Wei, Du Shangfeng. Machine vision recognizing position baseline in cropland[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(4):75-77. (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):107-112.  
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):107-112. (in Chinese)
- 段汝娇,赵伟,黄松岭,等. 一种基于改进 Hough 变换的直线快速检测算法[J]. 仪器仪表学报,2010,31(12):2274-2279.  
Duan Rujiao, Zhao Wei, Huang Songling, et al. Fast line detection algorithm based on improved Hough transformation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(12):2274-2279. (in Chinese)
- 张江鑫,沈小兰,王辉,等. 快速随机 Hough 变换多直线检测算法[J]. 浙江工业大学学报,2013,41(3):344-350.  
Zhang Jiangxin, Shen Xiaolan, Wang Hui, et al. Fast multiline detection algorithm using randomized Hough transform[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2013, 41(3):344-350. (in Chinese)
- 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.  
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. (in Chinese)
- 司永胜,姜国权,刘刚,等. 基于最小二乘法的早期作物行中心线检测方法[J]. 农业机械学报,2010,41(7):163-167.  
Si Yongsheng, Jiang Guoquan, Liu Gang, et al. Early stage crop rows detection based on least square method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7):163-167. (in Chinese)
- 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)
- 高峰,李艳,黄玉美,等. 基于遗传算法的农业移动机器人视觉导航方法[J]. 农业机械学报,2008,39(6):127-131.  
Gao Feng, Li Yan, Huang Yumei, et al. Visual navigation method based on genetic algorithm for agricultural mobile robots[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):127-131. (in Chinese)
- 刘兆祥. 农业车辆自动导航控制方法及导航路径识别算法研究[D]. 北京:中国农业大学,2011.  
Liu Zhaoxiang. Methods of navigation control and path recognition in autonomous agricultural vehicle[D]. Beijing: China Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- Holland J H. Outline for a logical theory of adaptive systems[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1962, 9(3):297-314.
- 李延梅. 一种改进的遗传算法及应用[D]. 广州:华南农业大学,2012.  
Li Yanmei. An improved genetic algorithm and its application[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 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.  
Chen Jiao, Jiang Guoquan, Du Shangfeng, et al. Crop rows detection based on parallel characteristic of crop rows using visual navigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12):107-113. (in Chinese)
- Soggaard H, Olsen H J. Determination of crop rows by image analysis without segmentation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38(2):141-158.
- Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.

- 18 孟庆宽,刘刚,张漫,等. 基于线性相关系数约束的作物行中心线检测方法[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):216-223.  
Meng Qingkuan, Liu Gang, Zhang Man, et al. Algorithm for crop rows detection based on linear correlation coefficient constrained[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(Supp.1): 216-223. (in Chinese)
- 19 陈艳. 基于UKF的GPS-MV组合导航定位方法研究[D]. 北京:中国农业大学,2010.  
Chen Yan. Positioning method of GPS and machine vision integrated navigation system based on UKF[D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- 20 郑立平,郝忠孝. 遗传算法理论综述[J]. 计算机工程与应用,2003,39(21):50-53.  
Zheng Liping, Hao Zhongxiao. A review on the theory for the genetic algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2003,39(21):50-53. (in Chinese)

## Navigation Line Detection for Farm Machinery Based on Improved Genetic Algorithm

Meng Qingkuan<sup>1</sup> Zhang Man<sup>1</sup> Qiu Ruicheng<sup>1</sup> He Jie<sup>1</sup> Si Yongsheng<sup>2</sup> Liu Gang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Information Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** Aimed at the problem of low processing speed and poor anti-interference in existing algorithms for the visual navigation, an algorithm based on improved genetic algorithm (IGA) was designed for navigation line detection. Since the trend of crop row in image was approximate to a line, two points from the bottom and top sides of image were randomly selected to code as chromosome. By multiple genetic evolutions, the highest fitness individual was chosen as the crop row line, so as to obtain the navigation line. To increase search efficiency and accuracy, IGA adopted the method of combination of probability preservation and optimal preservation strategy as the selection operator. The probabilities of crossover and mutation were adjusted automatically to improve the convergence speed and global search ability. The experimental results showed that, compared with Hough transform and Generic algorithm, IGA had the advantages of rapid detection and strong anti-interference. When the velocity of the vehicle was 0.6m/s, the maximum lateral deviation and average lateral deviation were 76 mm and 33.1 mm respectively, which could meet the requirement of farm machinery navigation.

**Key words:** Farm machinery Improved genetic algorithm Visual navigation Line detection