

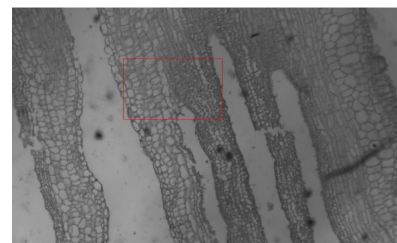


DOI: 10.12086/oe.2018.180236

## 改进的人工鱼群算法在显微镜自动对焦中的应用

江旻珊, 闫瑾, 徐晓立, 张学典\*

上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093



**摘要:** 对焦窗口的选择是实现显微镜自动对焦的关键步骤。针对传统的对焦窗口选取方法不能准确定位目标物体的问题, 本文提出了一种改进的人工鱼群对焦窗口法。以整幅图像中细节最丰富的区域作为对焦窗口的选取依据, 充分利用人工鱼群算法良好的全局寻优能力, 在整幅图像中选取最佳对焦窗口; 将全局优值添加到每条人工鱼的行为更新中, 使其能快速移动到当前最佳位置甚至是全局最优位置。此外, 在算法中引入了淘汰机制, 在保证精度的前提下, 提高算法的收敛速度; 再根据算法中公告板的特点, 结合趋势对比法识别干扰区域, 有效排除非目标区域的影响。实验表明, 该方法得到的对焦窗口, 可以更好地对目标物体进行对焦, 大大提高了自动对焦的精确度, 并且构建对焦窗口的效率较传统方法提高了 1.65 倍。

**关键词:** 自动对焦; 对焦窗口; 区域选择算法; 人工鱼群算法; 图像处理

**中图分类号:** O436.3; TP391

**文献标志码:** A

**引用格式:** 江旻珊, 闫瑾, 徐晓立, 等. 改进的人工鱼群算法在显微镜自动对焦中的应用[J]. 光电工程, 2018, 45(12): 180236

## Applications of improved artificial fish swarm algorithm in microscopy autofocus

Jiang Minshan, Yan Jin, Xu Xiaoli, Zhang Xuedian\*

Institute of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

**Abstract:** The selection of the focusing window is the key procedure in achieving precise automatic focus of the microscope. For the traditional focus window selection method, the limitation is that the target object cannot be accurately positioned. This paper proposes an improved artificial fish focusing window method. The method takes the area-of-interest of the whole image as the basis of the selection window. Through utilizing the global optimization ability of the artificial fish swarm algorithm, the best focusing window can be obtained. Adding the global optimal value to the behavior update of each artificial fish makes the artificial fish quickly move to the optimal position. Under the premise of ensuring accuracy, the elimination behavior is introduced to improve the convergence speed of the algorithm in the later period. Furthermore, according to the characteristics of the bulletin board in the algorithm, the interference area is identified with the trend comparison method, and the influence of the non-target area is effectively excluded. Experiment results show that the focusing window obtained by this algorithm can be well-suited for

收稿日期: 2018-05-03; 收到修改稿日期: 2018-06-08

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项资助课题(2013YQ03065104)

作者简介: 江旻珊(1983-), 女, 博士, 副教授, 主要从事光学成像技术的研究。E-mail: jiangmsc@gmail.com

通信作者: 张学典(1974-), 男, 博士, 教授, 主要从事光纤传感和光学成像技术的研究。E-mail: xdzhang@usst.edu.cn

the target object, greatly improve the accuracy of autofocus, and make the efficiency improvement 1.65 times than the traditional method.

**Keywords:** autofocus; focus window; region selection algorithm; artificial fish swarm algorithm; image processing

**Citation:** Jiang M S, Yan J, Xu X L, *et al.* Applications of improved artificial fish swarm algorithm in microscopy autofocus[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(12): 180236

## 1 引言

自动对焦技术是现代光学成像系统获取清晰图像的关键技术。随着自动化的快速发展,自动对焦技术也日趋成熟,推动着各类精密仪器的发展。显微镜是高精度的测量仪器,再加上本身成像视野小,景深小等特点,使得它对对焦质量的要求也越来越高<sup>[1-3]</sup>。目前,基于图像处理的自动对焦技术是对焦方法的主要研究方向。该方法以采集到的图像为基础,通过选取对焦窗口,评价成像清晰度及制定搜索策略等一系列操作,实现自动对焦<sup>[4-6]</sup>。其中,对焦窗口的选择是自动对焦过程中的重要步骤。

对焦窗口是图像的感兴趣区域<sup>[7]</sup>。传统的对焦窗口选取方法有中央选择法<sup>[8]</sup>,多区域选择法<sup>[9]</sup>和高斯非均匀采样法<sup>[10]</sup>。其中,前两种方法均根据视觉习惯选定窗口的位置,无法自适应目标区域位置,一旦目标物体偏离特定区域,则会造成目标内容的缺失。第三种方法是对目标区域进行特殊采样,使采样半径根据高斯函数规律进行变化,从而构建对焦窗口。该方法能较好地适应目标在中心区域内的偏移,但仍无法解决目标偏离中心区域随机分布的问题<sup>[11]</sup>。

针对以上几种方法的局限性,本文研究了人工鱼群算法的应用,文献<sup>[12]</sup>中设置了人工鱼群算法的视野及步长等参数来避免陷入局部极值。本文通过优化鱼群全局寻优能力、加快后期收敛速度及趋势对比排除干扰区域等方面,对人工鱼群算法在显微镜对焦中的应用进行了改进,得到的对焦区域不仅准确包含了随机分布在图像内的目标主体,且能有效排除干扰区域的影响,大大降低背景区域对选窗的干扰,同时得到的评价函数曲线灵敏度高于其他方法。

## 2 人工鱼群对焦窗口法

### 2.1 选取原则

在显微镜自动对焦中,对焦窗口的选取应遵循以下两个原则:

1) 尺寸原则。对焦过程中,如果整幅图像上的像素点都参与到图像质量评价中,则会使计算量过大,

系统实时性变差。若窗口尺寸过小,则包含的细节信息少,系统抗噪性变差<sup>[7]</sup>。对焦窗口尺寸的选择应在包含完整目标主体的基础上尽量减少参与对焦的像素数量。

2) 位置原则。不同位置的对焦区域会对评价曲线造成不同的影响,当选取区域有较多的背景信息介入时,会影响后续对焦的成败<sup>[13]</sup>。所以,根据待测目标往往比非感兴趣区域细节丰富的这一特点<sup>[14-15]</sup>,选取的对焦区域应包含尽可能多的边缘细节信息,这样不仅能削弱背景对聚焦的影响,还能较好地反映出整幅图像的对焦特性。

### 2.2 改进的人工鱼群对焦窗口法

人工鱼群对焦窗口法是根据人工鱼群优化算法进行数学建模,搜索图像中细节最丰富的区域作为最佳对焦窗口<sup>[16]</sup>。基本思想:在已知水域中,个体鱼最集中的地方通常是该水域中食物浓度最高的地方,个体鱼基于此原则执行一系列行为,感知环境状态,通过个体的局部优解得到群体的全局优解<sup>[17]</sup>。基本步骤:将显微镜自动对焦的图像信息映射到人工鱼群算法中,整幅图像对应于待解决问题的求解范围,水域的食物浓度对应于图像边缘信息的丰富程度,人工鱼群规模为 $N$ ,个体鱼对应于欲寻优的子图像区域,单个个体鱼的状态为 $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_{k_{\max}}\}$ (其中 $i=1, 2, \dots, N, k$ 为当前迭代次数, $k_{\max}$ 为最大迭代次数),个体鱼通过觅食、聚群、追尾等行为在整幅图像上行走,当个体鱼的适应度值越大,则说明其对应的子图像区域的边缘信息越丰富,高频分量越多,个体鱼越接近最佳对焦区域,从而找到全局最佳的对焦窗口位置。

为了提高传统人工鱼群算法构建显微镜对焦窗口的速度,精度和实用性,本文提出了以下改进方法,主要包括行为更新中引入全局变量、增设淘汰机制和利用公告板结合趋势对比法识别干扰区域三个方面。

#### 2.2.1 行为更新中引入全局变量

每条人工鱼通过行为来感知周围情况,为了加快人工鱼向全局最优位置移动的速度,在鱼群的觅食行

为、聚群行为、追尾行为和随机行为中加入全局变量  $x_{best}$ 。

1) 觅食行为

个体鱼感知水中的食物浓度来确定运动方向<sup>[18]</sup>。

算法描述：设  $x_i$  为人工鱼当前状态，对应的对焦函数评价值为  $y_j$ ；在其视野范围内随机选择一种状态  $x_j$ ：

$$x_j = x_i + V_{\text{visual}} \times \text{rand}() \quad (1)$$

如果  $y_j > y_i$ ，则遵循该方向作如下运动：

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \left( \frac{x_j + x_i^t}{\|x_j - x_i^t\|} + \frac{x_{\text{best}} + x_i^t}{\|x_{\text{best}} - x_i^t\|} \right) \times S_{\text{step}} \times \text{rand}() \quad (2)$$

若不满足，则重新选择随机状态  $x_j$ ，继续判断适应度优劣，当试探次数多于  $N_{\text{Try}}$ ，则执行随机行为，否则继续。

其中  $x_i^t$  为目前某一人工鱼位置， $x_i^{t+1}$  为执行鱼群行为后的位置， $x_{\text{best}}$  为当前迭代中最佳鱼的状态<sup>[19]</sup>，即公告板存储的位置信息。 $V_{\text{visual}}$  为人工鱼视野范围， $S_{\text{step}}$  人工鱼可移动步长， $\text{rand}()$  为 0~1 的随机数， $N_{\text{Try}}$  为人工鱼搜索的最大尝试次数。

2) 聚群行为

在移动过程中，鱼会遵循向鱼群中心位置移动且避免过度拥挤的原则自发聚集<sup>[18]</sup>。算法描述：令  $x_i$  为人工鱼当前状态， $x_c$  为当前邻域内同伴中心位置， $n_f$  为同伴数， $N$  为鱼群规模， $\delta$  为拥挤度因子。如果  $y_c > y_i$ ，且  $n_f / n < \delta$ ，表示同伴中心有较多的食物，且不是很拥挤，则向同伴中心作如下运动：

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \left( \frac{x_c + x_i^t}{\|x_c - x_i^t\|} + \frac{x_{\text{best}} + x_i^t}{\|x_{\text{best}} - x_i^t\|} \right) \times S_{\text{step}} \times \text{rand}() \quad (3)$$

否则，执行觅食行为。

3) 追尾行为

在鱼群的任何个体鱼发现食物时，相近的鱼群会快速跟随并到达食物周围<sup>[18]</sup>。算法描述：设  $x_i$  为当前状态，并探索邻域 ( $d_{ij} > V_{\text{visual}}$ ) 中  $y_j$  最大的伴侣  $x_j$ 。如果  $y_j > y_i$  且  $n_f / n < \delta$ ，表示伴侣  $x_j$  状态具有较高的食物浓度且周围环境不是很拥挤，则向同伴前进一步：

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \left( \frac{x_j + x_i^t}{\|x_j - x_i^t\|} + \frac{x_{\text{best}} + x_i^t}{\|x_{\text{best}} - x_i^t\|} \right) \times S_{\text{step}} \times \text{rand}() \quad (4)$$

否则，执行觅食行为。

4) 随机行为

算法描述：在视野中随机选择一个状态，然后向这个状态移动，增强了鱼群的多样性，避免陷入局部

极值。

$$x_i^{t+1} = x_i^t + V_{\text{visual}} \times \text{rand}() \quad (5)$$

2.2.2 增设淘汰机制

随着鱼群算法的进行，鱼群长时间在图像的某个区域聚集，最优值的增长趋势逐渐趋于平缓，表明已找到最佳对焦区域，但算法未达到终止条件，仍重复鱼群行为，同时为避免陷入局部极值的情况，可以适当减少鱼群中个体鱼的数目，淘汰掉一些对全局寻优求解贡献度低的个体鱼，同时保留评价函数值较高的个体鱼继续执行鱼群行为。算法描述，当算法进入  $k \geq k_{\text{max}} / 2$  时，每隔  $m$  次迭代后执行淘汰机制，由此可以有效减少计算量，从而提高算法后期的收敛能力。

2.2.3 利用公告板结合趋势对比法识别干扰区域

公告板在人工鱼群算法中用于记录最优人工鱼的状态，根据这一特点，对公告板进行一定的改动，将公告板定义为一条鱼，用于记录算法中一系列优值，具体描述：公告板的状态为  $X_0 = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_{k_{\text{max}}}\}$ ，在每次迭代后，将新鱼群的最优人工鱼与公告板最新状态  $x_k$  比较，若优于该状态，则将作为新状态  $x_{k+1}$  存入公告板，否则公告板不录入新状态。最后，公告板中记录着一系列通过鱼群行为寻得的对焦窗口位置的解集。

为了提高算法的准确率，排除干扰区域的影响，采用趋势对比法<sup>[15]</sup>对公告板内的优解进行筛选。随着对焦过程的进行，目标区域与干扰区域的对焦评价函数曲线会体现出不同的变化趋势，存在相反或者幅度变化大的明显差异，而其他区域基本保持一致的趋势。根据这一特点，在公告板中选取部分适应度较高的窗口位置，根据这些窗口的趋势变化，将干扰窗口排除掉，再从剩余的窗口中，选择评价函数值最大的作为最终的对焦窗口，从而大大提高了对焦精度。

2.3 改进后的算法流程

改进后的算法流程如图 1 所示。

首先，初始化算法参数并计算每条人工鱼的食物浓度并初始化公告板。对视野  $V_{\text{visual}}$  和步长  $S_{\text{step}}$  根据迭代次数  $k$  实时调整<sup>[12]</sup>。

然后，每条人工鱼通过鱼群行为更新位置，并更新公告板。在算法后期，执行淘汰机制删除不理想的个体鱼。当终止条件  $k \geq k_{\text{max}}$  时，则输出公告板中的状态。

最后，连续采集多幅图像，结合趋势对比法确定最终的对焦窗口。

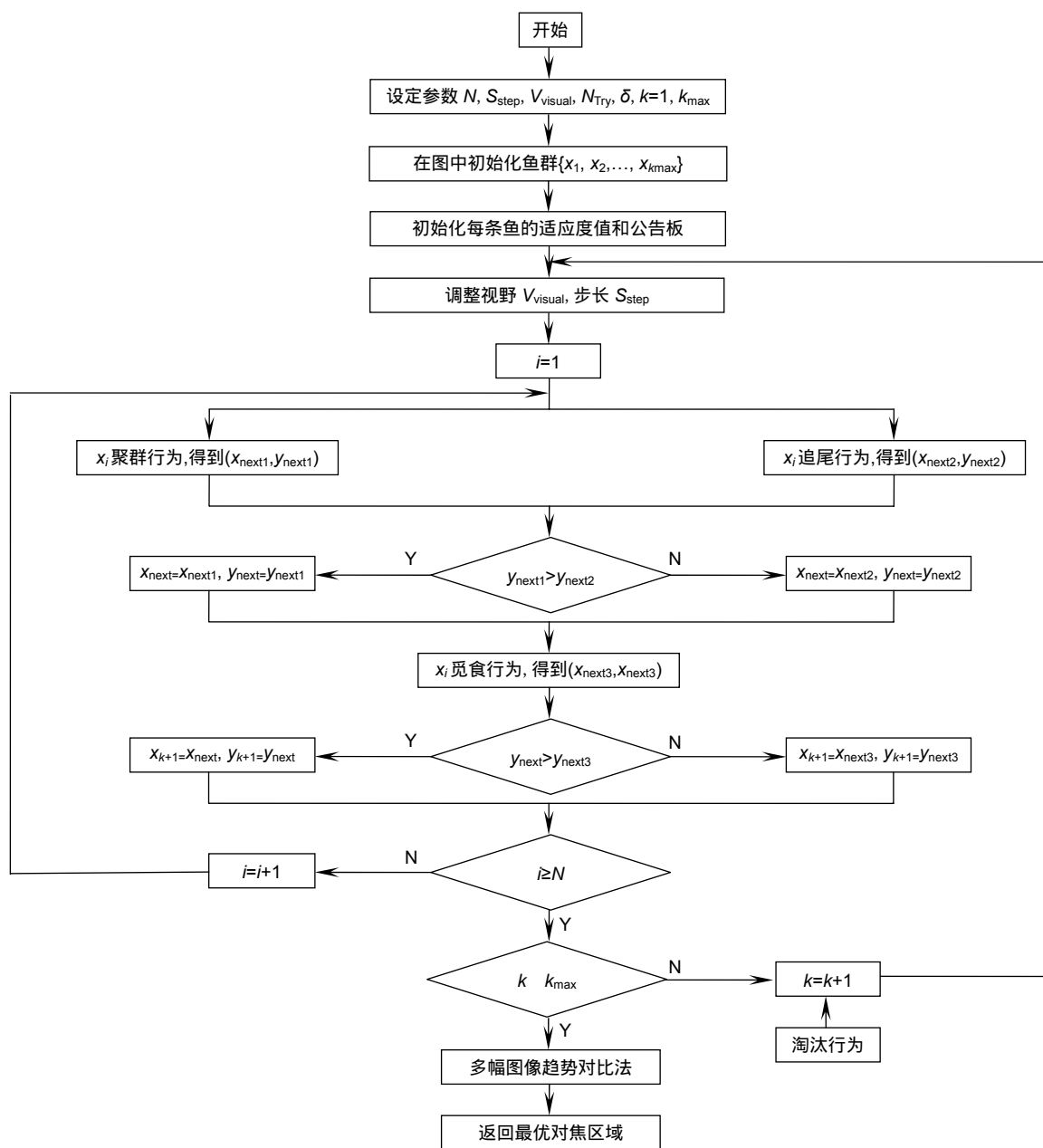


图 1 改进的人工鱼群对焦窗口算法流程图

Fig. 1 Flowchart of improved artificial fish swarm focus window selection algorithm

### 3 实验结果

为了验证提出的对焦窗口算法的性能, 本文通过 PC 机来控制显微镜自动对焦系统采集图像, 该系统由显微镜 Olympus IX71, 尼康物镜, CCD 相机 Basler acA2000, 图像采集卡, 可控的 LED 可见光源和 Z 轴电控平台组成。CCD 拍摄得到的图片尺寸均为 2048×1088, 本文提出的改进的人工鱼群算法参数设置为: 人工鱼群规模  $N=20$ , 人工鱼视野范围  $V_{\text{visual}}=10$ , 人工鱼可移动步长  $S_{\text{step}}=8$ , 拥挤度因子  $\delta=0.618$ , 人

工鱼搜索的最大尝试次数  $N_{\text{Try}}=5$ , 最大迭代次数  $k_{\text{max}}=50$ 。

本文设置了四组实验标本, 如图 2 所示, 第一组(图 2(a))为胃壁切片标本, 视野中心区域处有目标主体的分布; 第二组(图 2(b))为马蛔虫受精卵有丝分裂标本, 细胞随机分布, 中心区域目标主体不明确; 第三组(图 2(c))和第四组(图 2(d))为南瓜茎纵切标本在不同对焦程度的图像。第一组和第三、四组选用的是 5 倍物镜, 景深为 33.5  $\mu\text{m}$ , 第二组选用的是 10 倍物镜, 景深为 50  $\mu\text{m}$ 。对以上四组图像进行了构建对焦窗口

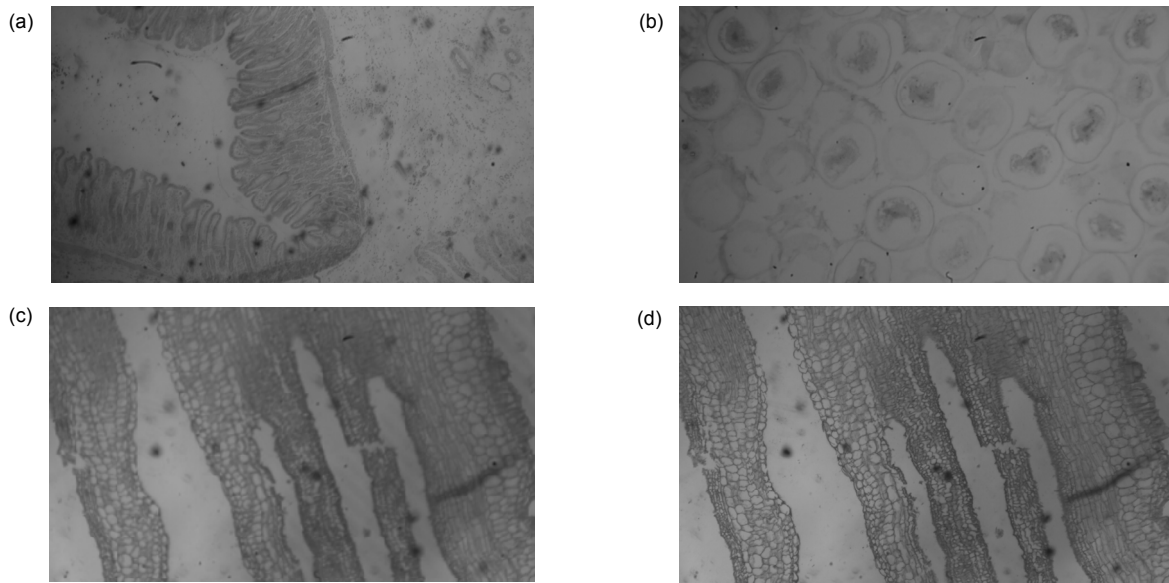


图2 实验原图。(a) 胃壁切片标本对焦图；(b) 马蛔虫受精卵有丝分裂标本对焦图；(c) 南瓜茎纵切标本离焦图；(d) 南瓜茎纵切标本对焦图

Fig. 2 The source image of the experiment. (a) Focused image of gastric wall specimen; (b) Focused image of mitotic specimen of maggot fertilized egg cells; (c) Defocused image of longitudinal specimens of pumpkin stem; (d) Focused image of longitudinal specimens of pumpkin stem

的实验,并将中央选择法,多区域选择法,高斯非均匀采样法和改进的人工鱼群对焦窗口法进行效果对比,选取结果图3。

从选取效果图3(a1)~(d1)中可以看出,各类对焦窗口法选取的窗口位置都较为理想,基本容纳目标主体,可有效对焦。由图3(a2)~(d2)可知,当目标物体分布杂乱、数目多时,由中央选择法和多区域选择法选取的对焦窗口位置都位于固定区域,灵活性差,只能包含位于中心区域的对象,若目标偏离中心,则无法对焦;且引入的背景信息过多,对调焦性能影响较大。高斯非均匀采样法选取的窗口效果优于前两种,但仍无法解决目标物体随机分布的问题;本文方法选取的对焦窗口最为合理,选取区域含有主要目标物体,边缘清晰,细节丰富,且有效克服了干扰区域的影响。

为了直观地体现选取效果,分别以胃壁切片标本和马蛔虫受精卵有丝分裂标本为样品进行分析,以正焦位置为起点,在焦面前及焦面后每隔0.05 mm采集一幅图像,共得到23幅图像,然后用四类方法逐一对图像进行处理,得到对焦窗口,再根据对焦评价函数对窗口进行客观评价,将结果进行归一化处理,如图4和图5所示。本文选取的评价函数是Brenner函数<sup>[20]</sup>,该函数对高斯噪声和椒盐噪声有良好的抗噪性。

从图4可以看出,当目标主体分布在图像中心时,中央选择法、多区域选择法和非均匀采样法曲线呈现

单峰性,因为选取的固定区域中主要包含了目标主体,背景信息干扰少。本文提出的方法单峰性表现出色,且在四种方法中,评价曲线更加“尖锐”,灵敏度最好。

从图5可以看出,当目标主体随机分布在图像上时,中央选择法和多区域选择法的对焦评价曲线特性明显变差,这是由于这两种方法的窗口内只含有少量目标主体,相当一部分的背景信息混杂其中。非均匀采样法得到的评价曲线优于前两者,曲线最大值处接近正焦位置,但曲线峰值两侧的曲线尖锐性差,且该方法运行时间长,会导致对焦系统的实时性差。本文算法得到的对焦区域在聚焦点取得最大值,同时曲线保持较高的灵敏度,证明了本文算法能自适应目标主体,而且具有较高的准确性。

通过离焦图像及定位聚焦图像的对焦区域,如图2(c)和图2(d)所示,来测试本文方法的稳定性,用本文方法分别对两幅图重复进行了10次聚焦实验,得到的效果图如图6所示,表1为对焦窗口中心的坐标取均值及两幅图像下得到的窗口重叠率。实验表明,本文提出的方法在正焦和离焦情况下构建的窗口基本一致,算法稳定性较好。

将改进的人工鱼群对焦窗口法与传统人工鱼群法分别对图2(d)构建窗口,得到的对焦窗口结果如图7所示,再将两种方法的实时性能进行比较,单帧的仿真结果如表2所示。

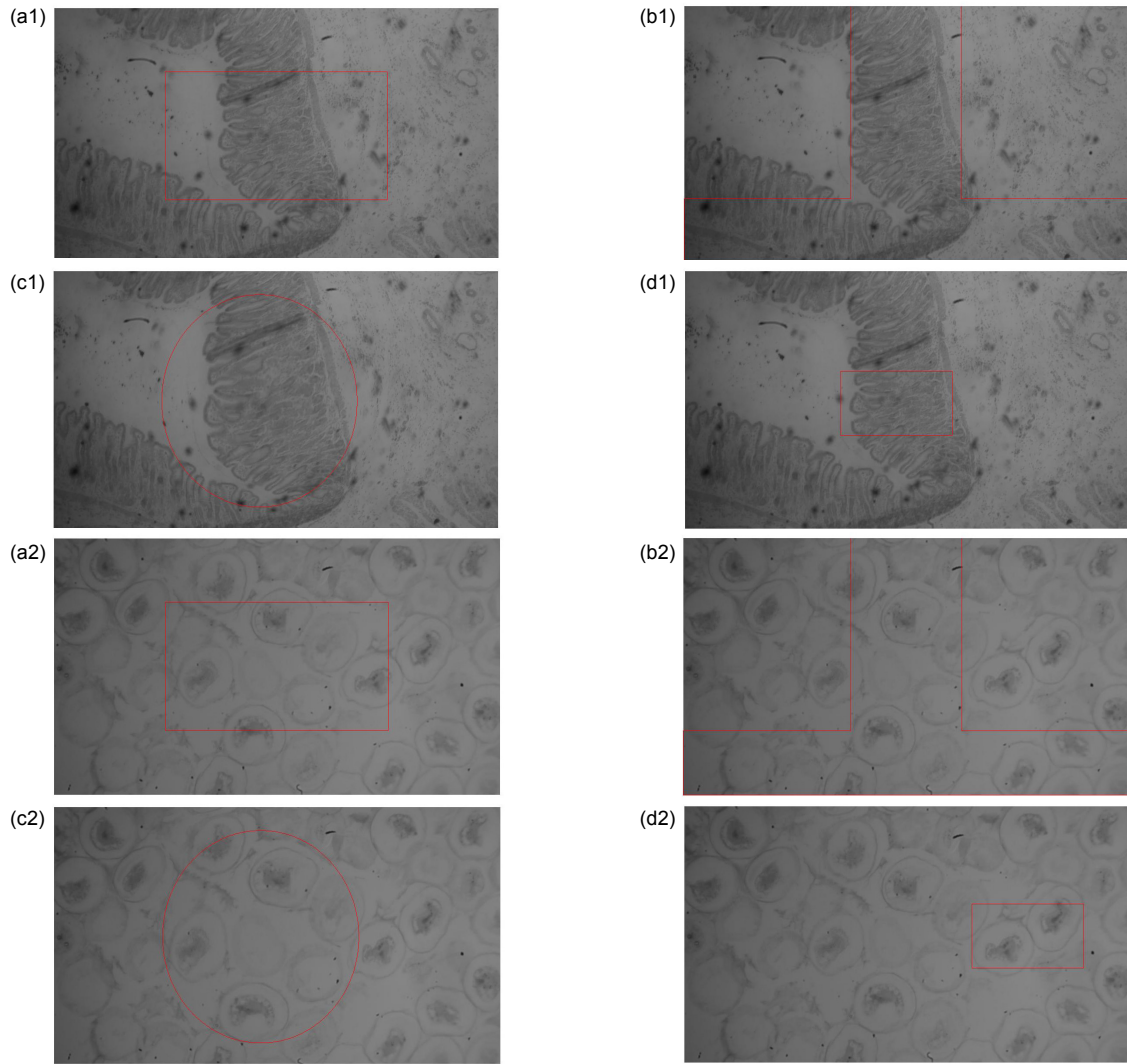


图3 四种方法的效果图。(a1)~(a2) 中央选择法; (b1)~(b2) 多区域选择法; (c1)~(c2) 高斯非均匀采样法; (d1)~(d2) 改进的人工鱼群对焦窗口法

Fig. 3 The result of 4 methods. (a1)~(a2) Central selection method; (b1)~(b2) Multi-areas selection method; (c1)~(c2) Gaussian non-uniform sampling method; (d1)~(d2) Improved artificial fish swarm focus window selection algorithm

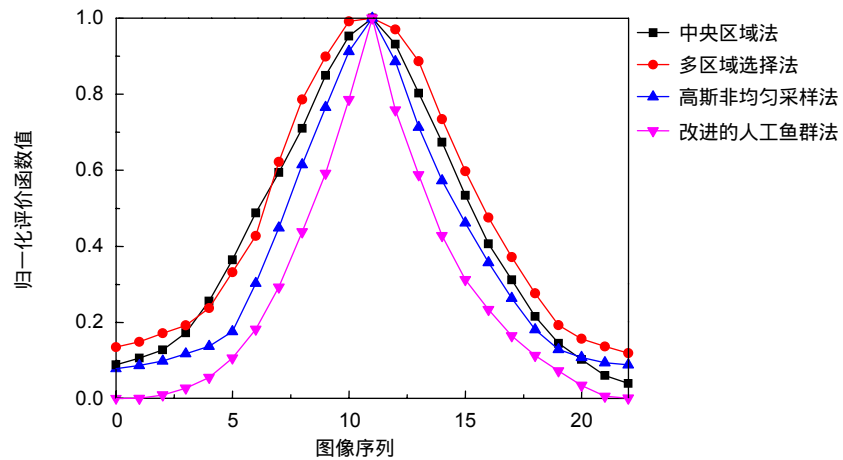


图4 胃壁切片标本的对焦评价曲线图

Fig. 4 Graph of evaluation function values in different windows of gastric wall specimen

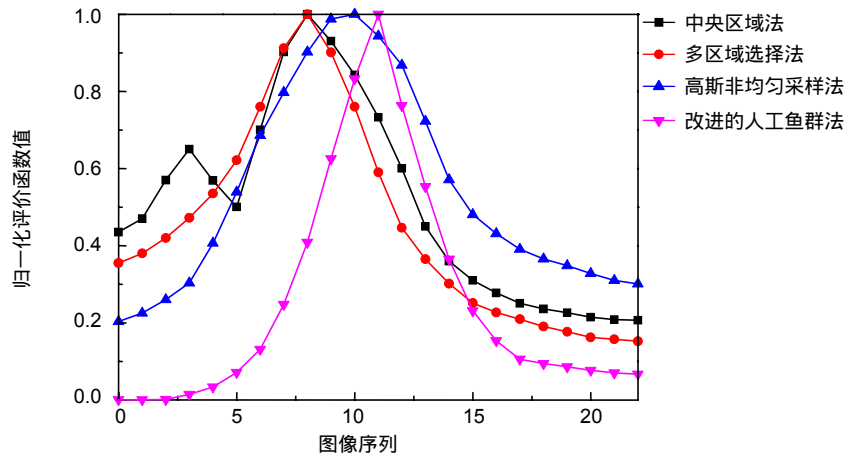


图 5 马蛔虫受精卵有丝分裂标本的对焦评价曲线图

Fig. 5 Graph of evaluation function values in different windows of gastric wall specimen

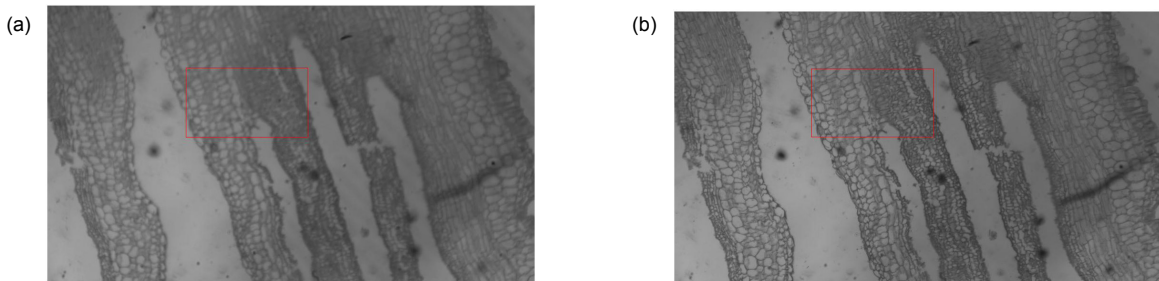


图 6 不同对焦程度的效果图。(a) 离焦效果图；(b) 对焦效果图

Fig. 6 The result of different levels of focus images. (a) The result of defocus image; (b) The result of focus image

表 1 不同对焦程度图像的窗口构建结果

Table 1 The position of focusing window with different levels of focus images

离焦图像/像素	正焦图像/像素	重叠率/(%)
(841,381)	(827,366)	91.90

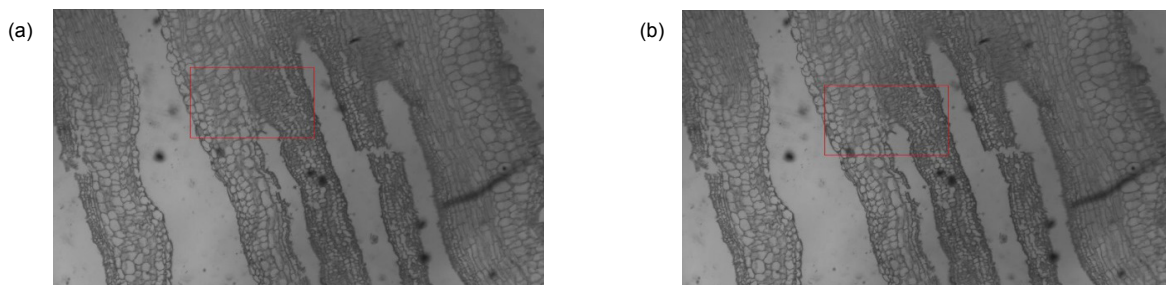


图 7 改进的人工鱼群对焦窗口法与传统人工鱼群法的实验结果图。(a) 改进的人工鱼群对焦窗口法；(b) 传统人工鱼群法

Fig. 7 The result of improved artificial fish swarm focus window selection algorithm and traditional artificial fish swarm algorithm. (a) Improved artificial fish swarm focus window selection algorithm; (b) Traditional artificial fish swarm algorithm

表 2 改进的人工鱼群对焦窗口法与传统人工鱼群算法的仿真结果

Table 2 Simulation results of improved artificial fish swarm algorithm and traditional artificial fish swarm algorithm

算法	改进的人工鱼群对焦窗口法	传统的人工鱼群对焦窗口法
时间/ms	426.823	703.584

改进的方法中加入了趋势对比法识别干扰区域,避免了图中非目标主体的影响,使得对焦准确性更佳。此外,改进的算法运行时间大大缩短,收敛速度明显优于传统人工鱼群法,构建有效窗口的效率是传统算法的1.65倍。

## 4 结论

本文提出了改进的人工鱼群对焦窗口法,以对焦窗口的尺寸原则和位置原则为基准,充分利用人工鱼群自上而下,由个体寻优达到全局最优的智能性,选择图像中细节最丰富区域来构建窗口,克服了传统方法遍历整张图像或以固定区域为对焦窗口的弊端,使得对焦窗口具有自适应性。在鱼群行为中加入全局最优值的信息,减少了每条人工鱼选择和调整行为的时间。算法后期加入了淘汰机制,删除评价效果差的个体鱼,加快了算法收敛速度,满足自动对焦实时性的要求。同时算法中根据公告板的特点,设计了趋势对比法有效降低了背景信息对聚焦精度带来的负面影响。几组对比实验表明,改进的人工鱼群对焦窗口法准确性最高,稳定性良好,算法构建窗口的效率较之传统方法提高了1.65倍。但此方法得到的对焦窗口尺寸不具有自适应性,后续需进一步研究。

## 参考文献

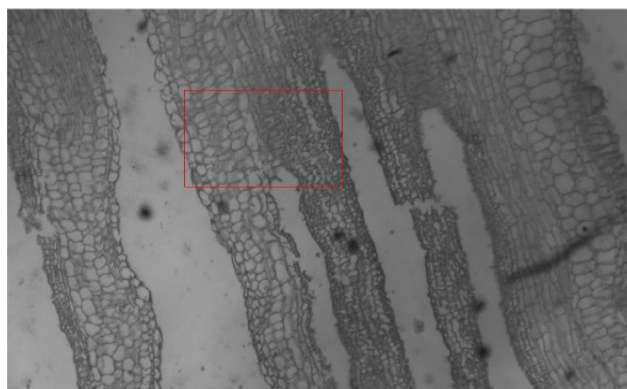
- [1] Sun Y, Duthaler S, Nelson B J. Autofocusing in computer microscopy: Selecting the optimal focus algorithm[J]. *Microscopy Research & Technique*, 2004, **65**(3): 139–149.
- [2] Apolinar J, Rodríguez M. Three-dimensional microscope vision system based on micro laser line scanning and adaptive genetic algorithms[J]. *Optics Communications*, 2017, **385**: 1–8.
- [3] Jiang M S, Zhang N N, Zhang X D, et al. Applications of hybrid search strategy in microscope autofocus[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2017, **44**(7): 685–694.  
江旻珊, 张楠楠, 张学典, 等. 混合搜索法在显微镜自动对焦中的应用[J]. *光电工程*, 2017, **44**(7): 685–694.
- [4] Li H G, Wang S, Sha X P, et al. Study of auto focusing technique of micro-vision system[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2014, **41**(8): 1–9.  
李惠光, 王帅, 沙晓鹏, 等. 显微视觉系统中自动聚焦技术的研究[J]. *光电工程*, 2014, **41**(8): 1–9.
- [5] Jiang Z G, Han D B, Yuan T Y, et al. Study on auto focusing algorithm for automatic microscope[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, **9**(4): 396–401.  
姜志国, 韩冬兵, 袁天云, 等. 基于全自动控制显微镜的自动聚焦算法研究[J]. *中国图象图形学报*, 2004, **9**(4): 396–401.
- [6] Jiang T. Research on auto-focusing theory and technology based on image processing[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008: 10–12.  
蒋婷. 基于图像处理的自动对焦理论和技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008: 10–12.
- [7] Li Q, Xu Z H, Feng H J, et al. Autofocus area design of digital imaging system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(1): 63–66.  
李奇, 徐之海, 冯华君, 等. 数字成像系统自动对焦区域设计[J]. *光子学报*, 2002, **31**(1): 63–66.
- [8] Won C S, Pyun K, Gray R M. Automatic object segmentation in images with low depth of field[C]//*Proceedings. International Conference on Image Processing*, Rochester, NY, USA, 2002, **3**: 805–808.
- [9] Fan P. Research on algorithm for auto-focus system based on digital image processing[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009: 20–28.  
樊攀. 基于数字图像处理的自动聚焦系统算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009: 20–28.
- [10] Zhu K F, Jiang W, Gao Z, et al. Focusing window choice and parameters determination in automatic focusing system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(6): 836–840.  
朱孔凤, 姜威, 高赞, 等. 自动聚焦系统中聚焦窗口的选择及参数的确定[J]. *光学学报*, 2006, **26**(6): 836–840.
- [11] Li Q, Feng H J, Xu Z H. Autofocus system experiment study using variational image-sampling[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12): 1499–1501.  
李奇, 冯华君, 徐之海. 自动对焦系统中图像非均匀采样的实验研究[J]. *光子学报*, 2003, **32**(12): 1499–1501.
- [12] Wang Y F, Jiang W. Application of artificial fish swarm algorithm on adaptive auto-focusing window selection[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2011, **47**(14): 180–182.  
王彦芳, 姜威. 应用于聚焦窗口自适应选择的人工鱼群算法改进[J]. *计算机工程与应用*, 2011, **47**(14): 180–182.
- [13] Zhang X D, Wang h, Jiang M S, et al. Applications of saliency analysis in focus image fusion[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2017, **44**(4): 435–441.  
张学典, 汪泓, 江旻珊, 等. 显著性分析在对焦图像融合方面的应用[J]. *光电工程*, 2017, **44**(4): 435–441.
- [14] Hu T, Chen S Z, Liu G D, et al. Algorithm of selecting the optimal focusing region[J]. *Optical Technique*, 2006, **32**(6): 851–854.  
胡涛, 陈世哲, 刘国栋, 等. 图像法自动调焦的最佳调焦区域选取算法[J]. *光学技术*, 2006, **32**(6): 851–854.
- [15] Gu C C, Wu K J, Hu J, et al. Region sampling for robust and rapid autofocus in microscope[J]. *Microscopy Research & Technique*, 2015, **78**(5): 382–390.
- [16] Huang D T. Study on auto-focusing method using image technology[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences, 2013: 76–78.  
黄德天. 基于图像技术的自动调焦方法研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2013: 76–78.
- [17] Zhang F S, Li S W, Hu Z G, et al. Fish swarm window selection algorithm based on cell microscopic automatic focus[J]. *Cluster Computing*, 2017, **20**(1): 485–495.
- [18] Neshat M, Sepidnam G, Sargolzaei M, et al. Artificial fish swarm algorithm: a survey of the state-of-the-art, hybridization, combinatorial and indicative applications[J]. *Artificial Intelligence Review*, 2014, **42**(4): 965–997.
- [19] Yu L, Li C. A global artificial fish swarm algorithm for structural damage detection[J]. *Advances in Structural Engineering*, 2016, **17**(3): 331–346.
- [20] Groen F C A, Young I T, Ligthart G. A comparison of different focus functions for use in autofocus algorithms[J]. *Cytometry*, 1985, **6**(2): 81–91.



# Applications of improved artificial fish swarm algorithm in microscopy autofocus

Jiang Minshan, Yan Jin, Xu Xiaoli, Zhang Xuedian\*

Institute of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China



The result of improved artificial fish swarm focus window selection algorithm

**Overview:** As the computer is developed in acquiring and analyzing images, microscope systems become available to focus automatically. The selection of the focusing window is the key procedure achieving precise autofocus. A suitable focusing window can save time and focus more consistently than the entire image in the focusing process. Traditional focus window selection methods were designed to solve the problem of large amounts data for microscopes. However, the conventional methods cannot position the target object accurately to some extent. This paper proposes an improved artificial fish swarm focusing window method. Firstly, according to the characteristics of the target object often containing more details than the non-interested area, this method takes the area-of-interest of the whole image as the basis of the selection window. Through utilizing the global optimization ability of the artificial fish swarm algorithm, the best focusing window can be obtained. Secondly, adding the global optimal value to the behavior update of each artificial fish makes the artificial fish quickly move to the optimal position while reducing the time for each artificial fish to select and adjust behavior. Thirdly, under the premise of ensuring accuracy, the elimination mechanism is introduced to the algorithm, and the individual fish with poor performance was deleted to decrease unnecessary calculation. Furthermore, the bulletin board in the algorithm always records the state of the optimal artificial fish. By making use of the feature, the influence of the non-target area is effectively excluded. It then compares this method with traditional focus window methods. It is shown that the proposed method gives the best results when tested on several different sets of specimen images. The focusing window obtained by this algorithm can be well-suited for the target object regardless of whether the target is in the center of the image. Experiment results between the defocus images and the focus images demonstrate that proposed method have good performance about the stability of algorithm. The windows captured under different levels of focus images are basically the same. The superiority of this algorithm is greatly improving the accuracy of autofocus, compared with other recently reported artificial fish swarm focusing window algorithms. Moreover, the method improves the convergence speed of the algorithm in the later period and avoids a tedious parameter-tuning procedure. Simulation results verify that the proposed algorithm can make the efficiency improve 1.65 times than the traditional artificial fish swarm algorithm.

**Citation:** Jiang M S, Yan J, Xu X L, *et al.* Applications of improved artificial fish swarm algorithm in microscopy autofocus[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(12): 180236

Supported by Grants from the National Key Foundation for Exploring Scientific Instrument of China (2013YQ03065104)

\* E-mail: xdzhang@usst.edu.cn