

引用格式:李少波, 赵 辉, 张成龙, 等. 果蝇优化算法研究综述[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(1): 163—171

Li Shaobo, Zhao Hui, Zhang Chenglong, et al. Literature survey of fruit fly optimization algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(1): 163—171

自动化技术、计算机技术

果蝇优化算法研究综述

李少波¹ 赵 辉^{1*} 张成龙² 郑 凯¹
(贵州大学机械工程学院¹, 大数据与信息工程学院², 贵阳 550025)

摘 要 果蝇优化算法(FOA)是一种新兴的群体智能算法,其思想来源于果蝇群体觅食行为。为进一步推广应用 FOA 并为深入研究该算法提供相关资料,在分析 FOA 基本原理和优缺点的基础上,从 FOA 各种改进技术及其应用等方面进行深入调查,论述了该算法的改进策略,并阐述了 FOA 在复杂函数优化、参数优化和组合优化等方面的应用。最后对 FOA 发展趋势做出展望。

关键词 果蝇优化算法 改进策略 应用研究

中图分类号 TP18; **文献标志码** A

近年来,以蚁群算法^[1] (ACO)、粒子群算法^[2] (PSO)、人工蜂群算法^[3] (ABCA) 等为代表的群体智能算法不断发展,渐渐成为人们解决复杂问题的有力工具。Pan 于 2011 年受果蝇觅食行为启发,提出了果蝇优化算法^[4] (FOA)。虽然其出现时间不长,但因其具有清晰的生物机制、可塑性强、易编程、较快的搜索速度等优点,所以已经越来越受到人们的重视。

从目前的相关研究分析可知,有关 FOA 的研究一直处在增长趋势。随着研究的不断深入,出现了越来越多与果蝇优化算法相关的研究点,形成了庞大的研究网络,以下是高相关的研究点:支持向量机、广义回归神经网络、参数优化、最小二乘支持向量机、神经网络、故障诊断、自适应、收敛精度、群体智能等。

果蝇优化算法的跨学科研究发展也很迅速,已深入到多个学科,多个渗透学科及对应的研究主题如图 1。

本文综合相关文献,全面介绍了 FOA 在算法改

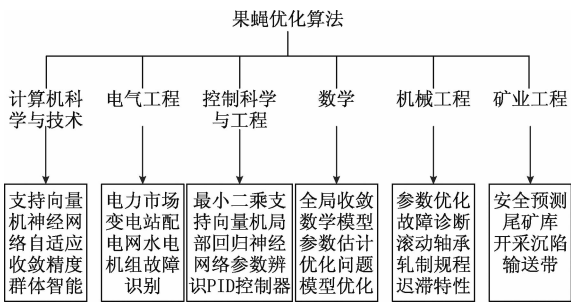


图 1 渗透学科及对应的研究主题

Fig. 1 Infiltration disciplines and corresponding research topics

进和实际应用方面的研究进展,为 FOA 的推广应用提供有关资料。

1 基本果蝇优化算法

1.1 基本果蝇优化算法的原理

果蝇优化算法(FOA)是基于群体的演化算法,其基本思想来源于果蝇觅食行为。果蝇在嗅觉和视觉能力上优于其他物种。果蝇首先通过嗅觉搜索食物(可达 40 km 远),当离食物较近时,通过敏锐的视觉继续进行搜索,并最终找到食物源。图 2 为果蝇觅食过程。

根据果蝇群体觅食行为特点,可将标准果蝇优化算法分为以下几个步骤。

- (1) 初始化果蝇群体位置:
- $$\begin{cases} \text{intX_axis} \\ \text{intY_axis} \end{cases} \tag{1}$$
- (2) 给出果蝇个体利用嗅觉搜寻食物的随机方

2017 年 6 月 22 日收到 国家自然科学基金(51475097)、
工信部智能制造示范项目(工信部联装[2016]213)、
贵州省基础研究重大项目(黔科合 JD 字[2014]2001)和
贵州大学研究生创新基地项目(贵大研 CXJD[2015]003)资助

第一作者简介:李少波(1973—),教授,博士研究生导师。研究方向:智能制造与多源数据融合。E-mail:lishaobo@gzu.edu.cn。

* 通信作者简介:赵 辉(1992—),硕士研究生。研究方向:智能算法与智能制造。E-mail:834159254@qq.com。

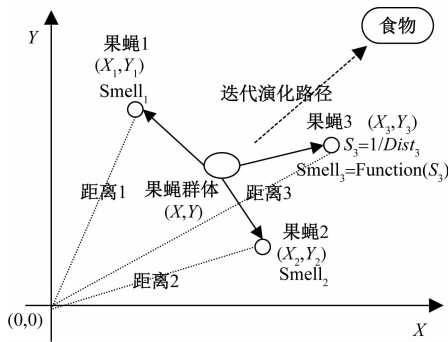


图2 果蝇觅食过程
Fig. 2 Drosophila foraging process

向与距离:

$$\begin{cases} X_i = X_axis + \text{RandomValue} \\ Y_i = Y_axis + \text{RandomValue} \end{cases} \quad (2)$$

(3) 由于开始无法获知食物的具体位置,所以先计算果蝇个体与原点之间的距离 $Dist_i$,再计算味道浓度判定值 S_i :

$$Dist_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad (3)$$

$$S_i = 1 / Dist_i \quad (4)$$

(4) 味道浓度判定值 (S_i) 代入味道浓度判定函数(或称为 Fitness function)以求出该果蝇个体位置的味道浓度 $Smell_i$:

$$Smell_i = \text{Fitness}(S_i) \quad (5)$$

(5) 找出此果蝇群体中味道浓度最高的果蝇(求极大值):

$$[\text{bestSmell}, \text{bestIndex}] = \min(\text{Smell}) \quad (6)$$

(6) 保留最佳味道浓度值与 x, y 坐标,此时果蝇群体利用视觉往该位置飞去:

$$\text{SmellBest} = \text{bestSmell} \quad (7)$$

$$\begin{cases} X_axis = X(\text{bestIndex}) \\ Y_axis = Y(\text{bestIndex}) \end{cases} \quad (8)$$

(7) 进入迭代寻优,重复执行步骤(2)~步骤(5),并判断味道浓度是否优于前一迭代味道浓度,若是则执行步骤(6)。

1.2 基本果蝇优化算法的特点

与其他群体智能优化算法类似,果蝇优化算法也具有群体协作、信息共享的特点。然而,FOA 不同于先前的群体智能优化算法^[5]:FOA 在坐标系横轴和纵轴两个方向上采用二维搜索,这和以往所有的群体智能优化算法都不同;FOA 的嗅觉搜索机制和视觉搜索机制更为简洁。果蝇利用嗅觉和视觉进行搜索,嗅觉搜索能力使果蝇可以跳出局部最优解,而视觉搜索可以使果蝇比较快的定位到较优位置,因此,FOA 具有全局快速寻优的特点。

吴小文等^[6]通过用各种群智能算法对函数进

行测试,得出每种群智能算法的寻优性能,性能对比如表1所示。从表1中可以看出,每种算法都有各自的优缺点,FOA 具有较小的计算量、较低的复杂度、较高的精度,但其寻优结果较不稳定。

表1 6种群智能算法寻优性能
Table 1 Six-group intelligent algorithm optimization performance

算法	性能			
	计算量	复杂度	稳定性	精度
蚁群	中等	较复杂	较稳定	较高
鱼群	较大	较复杂	较稳定	较高
免疫	很大	很复杂	很稳定	很高
遗传	较大	很复杂	较稳定	较低
粒子群	中等	较简单	不稳定	很低
果蝇	较小	较简单	不稳定	较高

由蚂蚁与原点的距离和味道浓度判定值可知,FOA 有其他算法所不具有的缺陷:不能解决最优值是负数的问题;很难解决极值点不在零点的问题。此外,FOA 还很难解决复杂、非线性问题而且容易陷入局部最优解。

2 FOA 的改进策略

2.1 对搜索步长的改进

搜索步长是群智能算法的重要参数之一,通常搜索步长是固定值、随机值或两者兼有。在基本FOA 中,果蝇的搜索半径是固定值,因此,使得FOA 全局搜索能力下降,且易陷入局部搜索,而搜索半径是影响搜索步长的最重要因素,所以,对搜索步长的改进主要是通过对搜索半径进行改进。改进的途径一般是将搜索半径的固定值改为动态的自适应值。通过相关实验可知,改进后的FOA 全局搜索能力增强,不易陷入局部搜索。相关改进策略如下。

(1) 臧文龙^[7]提出了一种避免局部最优因子来改进果蝇优化算法,公式如下:

$$Dist_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad (9)$$

$$S_{mi} = \frac{1}{Dist_i} + \beta \quad (10)$$

式(10)中, S_{mi} 是改进果蝇优化算法的味道判定函数。为了总结上述变量,局部最优因子分为两种,具体如下:

$$\beta = \begin{cases} gDist_i \\ KIntiX_axis \text{ or } KIntiY_axis \end{cases} \quad (11)$$

式(11)中,第一类因子等于 $gDist_i$, g 服从均匀分布;第二类因子等于常数 K 乘以 $InitX_axis$ 或 $InitY_axis$ 。

(2) 朱志同等^[8]提出了一种具有不同飞行半径

的分群搜索策略,同时在果蝇个体的飞行距离与方向的步长函数上,针对不同的果蝇子群引入了不同的函数,可以很好地避免果蝇群陷入局部极小点而无法求得最优解。相关公式如下:

$$X_{ai} = X_{axis} + \omega_a \text{rand}(r_a)$$

(12)

$$X_{bj} = X_{axis} + \omega_b \text{rand}(r_b - r_a)$$

(13)

$$\omega_a = w_0 a^n$$

(14)

$$\omega_b = w_0 a^m$$

(15)

$$m = \begin{cases} m + 1, & m < M \\ 1, & m = M \end{cases}$$

(16)

$$\begin{cases} n = n - 1 \\ m = M \\ n < N \end{cases}$$

(17)

式中, X_{ai} 为 A 子群的飞行能力弱, X_{bj} 为 B 子群的飞行能力强;A 子群的步长函数为递减函数 ω_a ,B 子群的步长函数为递增函数 ω_b 。

(3)Wang 等^[9]提出将果蝇在每个维度上的搜索范围分为 2 个部分,将局部最优导向因子引入 FOA,通过动态调整该因子协调果蝇在不同区域的搜索强度,通过随机选择果蝇位置向量中特定维度实现果蝇位置更新。具体公式如下:

$$\Omega_1 = (x_{ij} | x_{bj} - r \leq x_{ij} \leq x_{bj} + r)$$

(18)

$$\Omega_2 = \Omega - \Omega_1$$

(19)

$$p = p_{\max} \exp \left[\left(\ln \frac{p_{\min}}{p_{\max}} \right) \frac{t}{t_{\max}} \right]$$

(20)

式中, Ω 为针对每个维度的搜索范围, Ω_1 、 Ω_2 称为当前维度最优值 x_{bj} 的近郊区、远郊区, p 为最优导向因子。更多有关搜索半径改进策略可见文献[10—12]。

2.2 多种群协同搜索

多种群协同搜索充分利用了种群规模大的特点,提高了 FOA 的搜索精度和搜索效率。多种群协同搜索主要改进途径是设计合理的种群数量和制定高效的种群间信息交换策略。相关改进策略如下。

(1)Liu 等^[13]将果蝇群体分解为多个子种群,果蝇个体的更新同时向子种群的局部最优和全体种群的全局最优学习,这使得果蝇向全局最优位置聚集,同时也继承了子种群的局部最优信息。果蝇个体更新公式为

$$\begin{cases} X_{ik} = pX_i + 2\text{rand}() (gX - X_{ik}) \\ Y_{ik} = pY_i + 2\text{rand}() (gY - Y_{ik}) \end{cases}$$

(21)

式中, pX_i 和 pY_i 为每个子种群的局部最优个体, gX 和 gY 为全部种群的全局最优个体, $\text{rand}()$ 表示(0, 1)的随机数。

(2)Zhang 等^[14]提出了一种双子群果蝇优化算法(LFOA)。在寻优过程中,将果蝇群体分为 2 个

子种群,一个是较差子群在最优个体指导下进行全局搜索,另一个是较优种群围绕最优个体进行局部搜索,以此平衡了种群的全局和局部搜索能力,同时又使算法能够跳出局部最优。仿真实验表明,LFOA 比 FOA 具有更好的全局收敛能力、更高的收敛精度、更快的收敛速度以及更好的收敛可靠性。

(3)Li 等^[15]提出了一种求解 0 ~ 1 背包问题的双子群果蝇优化算法。此算法动态地将果蝇群体分成两个子种群,种群 1 主要进行精细局部搜索,种群 2 主要工作是使算法在进行精细局部搜索时,能够具备一定的领域开拓能力,增强算法跳出局部最优的能力。此双子群果蝇优化算法增加了搜索过程多样性,比基本果蝇优化算法具有更好的全局寻优能力。

2.3 设计混合算法

(1)王雅琳等^[16]提出一种将细菌觅食算法与 FOA 相结合的自适应果蝇算法(CAFOABM)。又将多种群并行搜索和改进搜索算子引入 CAFOABM。改进算法用于优化净化除钴过程中锌粉添加量的设定,结果表明,CAFOABM 算法优化设定的锌粉添加量比常规用量减少 7% 左右。与 GA、PSO、FOA 相比,在寻找最优解、最差解等方面均有较大优势,收敛精度也有较大提高。刘成忠等^[17]也将细菌觅食算法与 FOA 相结合提出了混合果蝇优化算法。

(2)张彩宏等^[18]提出将禁忌搜索算法(TS)和 FOA 相结合的果蝇优化算法(TS-FOA)。前期利用 FOA 进行寻优,计算果蝇群体适应度方差值,判断是否进入局部收敛状态;如果进入局部收敛状态,则引入 TS 继续深度寻优,提高寻优精度和寻优速度。使用了 5 个经典标准函数对 TS-FOA 进行性能测试,结果表明,TS-FOA 在寻优精度、寻优速度、寻优稳定性上均优于基本 FOA。

(3)韩俊英等^[19]提出了基于云模型的自适应调整参数的果蝇优化算法(FOAAP)。该算法在每个进化代输入当代所有个体的适应度,由逆向云发生器算法得出当代云模型的 3 个数字特征,对种群中的所有个体按照给定条件隶属云发生器自适应调整搜寻食物的方向与距离。通过用 6 个经典函数对 FOAAP 进行性能测试,结果表明,相对 FOA、标准 PSO、自适应 PSO、人工鱼群算法等智能算法,该算法在收敛速度、收敛精度以及稳定性等方面具有更大优势。更多的混合算法可以在文献[20—22]找到。

2.4 其他改进策略

2.4.1 对候选解产生机制的改进

由 FOA 的缺陷可知,标准的 FOA 候选解产生

机制制约了其求解性能。针对其缺陷,解决途径主要是使候选解可以取负数,并且使候选解均匀地分布于解空间。相关改进策略如下。

Pan^[23]在味道浓度判定值中加入了逃逸参数,将果蝇的搜索空间从二维扩展为三维。相关改进公式为

$$Dist_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2} \quad (22)$$

$$S_i = \frac{1}{Dist_i} + \Delta \quad (23)$$

$$\Delta = Dist_i(0.5 - \delta) \quad (24)$$

2.4.2 对飞行策略的改进

由 FOA 的视觉搜索特点可知,基本 FOA 果蝇群体多样性较低,且算法容易早熟,易陷入局部最优。主要改进策略是为果蝇的飞行方向和飞行距离添加合理的随机性。

Zhang 等^[14]把 Levy 飞行策略引入基本 FOA 中。在寻优过程中,使较优个体围绕最优个体做 Levy 飞行进行局部搜索,利用 Levy 飞行进行偶然的长跳跃增强全局搜索能力。更多关于 FOA 的改进策略可以从文献[24—27]找到。

3 FOA 的应用研究

3.1 复杂函数优化

解决复杂函数能力的强弱是检验算法性能是否优越的重要指标之一。因此,有很多使用果蝇优化算法解决复杂函数的文献。

(1)张磊等^[28]提出了一种基于佳点集和小生境技术,用来优化多模函数的混合果蝇优化算法。测试了 7 个多峰函数,结果表明改进的 FOA 具有较强的自适应性、收敛速度以及全局搜索能力;该算法能够高效、高精度地找到全局极值也能够较精确地定位到所有全局极值和多个次优极值,充分表明其具有强大的多峰搜索能力。通过与基本 FOA、自适应变异粒子群算法(PSO)和人群搜索算法(SOA)作比较,可知由此混合果蝇优化算法求得的每个最优解精度都要高于其他几种算法。

(2)钟伟民等^[29]提出了一种基于 PSO 中社会认知因子和差分演化算法中变异算子的 FOA。使用 8 个复杂函数对其改进的 FOA 进行性能测试,结果表明改进的 FOA 具有更好的全局搜索能力、更快的收敛速度。将改进的 FOA 用于 GE 气化炉操作优化中,结果表明,改进的 FOA 可以快速找到最优解。

(3)张勇等^[30]提出了一种用于求解多峰函数的改进果蝇优化算法(IFFOA)。使用了 Schaffer 等 5 个函数对 IFFOA 进行性能测试,并与遗传算法和

和声搜索算法进行效果对比,结果表明 IFFOA 在求解精度和收敛速度方面都优于其他两种算法,从而验证了 IFFOA 的优越性和有效性。文献[31]也将 FOA 应用于复杂函数优化。

3.2 调度问题

(1)刘琼等^[32]提出了多目标果蝇优化算法(MFOA),并且设计了一种基于混合步长的嗅觉搜索、将非支配等级排序方法引入 MFOA 处理多目标问题。将 MFOA 应用于求解以车间制造过程总碳排放和总完工时间最小为优化目标的车间布局和调度集成优化模型。

(2)张其亮等^[33]提出一种基于优势种群的离散果蝇算法进行求解无等待流水车间调度问题。利用排列编码表示问题的解,利用 PF + NEH(λ)算法构造优势种群;在嗅觉搜索阶段设计了分段破坏的迭代贪婪算法和成组插入法进行邻域搜索,以搜寻更好的食物源;在视觉搜索阶段设计了交叉操作,对种群中的劣势个体与优势个体进行信息交换,从而引导劣势个体寻找更好的食物源,同时对部分优势个体执行多种变异操作,以提高种群的多样性。

(3)Zheng 等^[34]针对置换流水线调度问题首次提出了一种混合离散果蝇算法。算法每一代进化包括 4 个搜索阶段:嗅觉搜索、视觉搜索、协作进化和退火过程。通过设计 4 个搜索阶段很好地均衡了全局和局部搜索能力。Zheng 等^[35]利用 FOA 求解了以完工时间最小为目标的柔性车间调度问题。更多调度问题可从文献[36,37]中找到。

3.3 库存、选址问题

刘勇等^[38]提出了一种用于研究多配送中心选址问题的免疫果蝇混合优化算法。通过使用改进的 FOA 解决多配送中心选址问题与基本的免疫算法做对比,结果表明,改进的 FOA 能够快速找到全局最优解,并优化中心选址位置。

于博^[39]提出了一种基于 Logistic 混沌系统的果蝇优化算法。用此算法优化城市物流配送选址问题,结果表明,改进的果蝇优化算法综合了 Logistic 混沌系统和果蝇优化算法两者的优点,该算法具有更快的收敛速度、更高的收敛精度。更多 FOA 应用于库存、选址问题的应用可以在文献[40]找到。

3.4 PID 控制器参数优化

赵晓军等^[41]提出一种基于 FOA 的 PID 控制器参数优化的方法。通过实验得知:FOA 的 PID 控制器比 Z-N 法和 GA 的 PID 控制器的性能更优,收敛速度更快,可用于环形一级倒立摆系统的稳定控制,且具有较好的控制效果。

Li 等^[42]提出了一种新的改进果蝇优化算法

(MFOA)用于确定最优比例积分微分控制器参数。MFOA 可以有效地找到最优 PID 控制器参数。通过仿真结果表明,与 FOA-PID 控制器相比,MFOA-PID 控制器更为优化,有效和快速。

Xu^[43]提出一种改进的果蝇优化算法(IFOA),增加了非线性递减变化的惯性权重和个体与群体之间关系。增强了全局寻优的能力。IFOA 可以将局部和全局优化能力与 PID 控制器的性能进行平衡。可以在文献[44—46]中找到更多 FOA 优化 PID 控制器参数的应用。

3.5 神经网络参数优化

Lei 等^[47]利用 FOA 优化概率神经网络参数,用以确定采煤机切割状态。通过对采煤机切割状态诊断的模拟研究,并与其他算法进行对比,结果表明,经过 FOA 优化的概率神经网络具有更高的准确性,可以使采煤机能够更好进行状态识别。

Wang 等^[48]利用改进的果蝇优化算法(IFOA)优化小波神经网络(WNN)参数,在工业丙烯聚合过程中对熔体指数进行预测,与其他现有的模型进行对比,实验表明,WNN-IFOA 模型可以获得最小的预测误差。

孙研等^[49]利用 FOA 优化灰色神经网络参数。将其用于基金买卖决策中,实验结果表明,通过 FOA 优化灰色神经网络参数的方法比单一的灰色神经网络有更高的预测精度。邹兵等^[50]也利用 FOA 优化灰色神经网络参数,将其用于卫星钟差预报。实验表明,此方法的预报精度优于神经网络模型、灰色系统模型和灰色神经网络模型,且能满足短期高精度钟差预报的要求。

范良等^[51]利用 FOA 优化广义回归神经网络的平滑因子。用于建立对煤仓的沉降变形观测数据的分析和计算预测模型,通过测试表明,使用 FOA 优化后的广义回归神经网络能快速找到较优平滑因子,且能对沉降变形数据进行较准确的预报。可以在文献[52—56]中找到更多用 FOA 优化神经网络的应用。

3.6 支持向量机参数优化

司刚全等^[57]利用基于交叉训练的果蝇优化算法优化最小二乘支持向量机(SVM)的超参数。可将该方法用于火电厂磨机负荷的准确预测。实验结果表明,该方法可以提高超参数寻优效率、模型的预测精度以及寻优效率。

王雪刚等^[58]将 FOA 用于 SVM 的参数优化。将该方法用于建立船舶操纵运动预报黑箱模型,实验结果表明,改进方法能准确、有效地对 SVM 参数进行优化,且不易陷于局部极小值。

Li 等^[59]使用自适应混沌 FOA 优化支持向量回归模型参数,并将该方法用于预测船舶运动时间序列。Shen 等^[60]使用 FOA 优化支持向量机参数,并将该方法用于医疗数据集分类。高雷阜等^[61]利用 FOA 与均匀设计相结合的果蝇耦合均匀设计算法对支持向量机的参数优化。实验结果表明,该方法具有较高的分类精度和较快的寻优效率。郭凡等^[62]使用 FOA 优化支持向量回归机预测模型的参数,并将该方法应用于实际纤维生产过程中。更多有关使用 FOA 优化支持向量机参数的应用可以在文献[63—66]中找到。

3.7 其他应用研究

Yuan 等^[67]利用改进的混沌 FOA 求解了双向感应电能输出系统参数的识别问题;王克甫等^[68]利用 FOA 求解了旅行商问题;Bai 等^[69]利用 FOA 研究了基于统一电力市场的虚拟电厂的最优调度策略,将日前交易与实时交易相结合。Bian 等^[70]利用基于概率特征值的改进果蝇优化算法(MFOA)来协调和优化 PSS 和 SVC 阻尼控制器的参数,以提高电力系统与风电场整合的概率小信号稳定性。Zeng 等^[71]通过在汽车前保险杠上应用 FOA,提高了能量吸收和轻量化保险杠。Mousavi 等^[72]利用一种改进的果蝇优化算法,在折扣策略下解决均匀模糊串并联冗余分配问题。Crawford 等^[73]利用二进制 FOA 求解了集覆盖问题。陈涛等^[74]研究了利用 FOA 反演概率积分法开采沉陷预计参数的基本原理,构造了下沉拟合值与实测值均方差最小的适应度函数模型。更多有关 FOA 的应用研究可在文献[75—80]中找到。

4 FOA 发展趋势展望

由于 FOA 出现时间不长,所以,现在发展还不成熟,依然处在摸索阶段。根据相关资料总结,对 FOA 的后续发展做出以下展望。

(1)首先针对 FOA 的特点和一些缺点继续进行深入研究,比如对嗅觉搜索和视觉搜索策略以及全局优化和局部优化能力还需要进行深入的理论研究。此外,有必要对算法的收敛性、稳定性、鲁棒性以及参数的选取进行探讨。

(2)可针对基本 FOA 步骤做出相应改进。由于基本 FOA 的果蝇种群比较单一,这样就限制了算法的全局优化能力,且目前有关果蝇种群多样性的研究也较少,因此,有很大的研究价值;在众多的智能算法中,每种算法有各自的优缺点,比如:粒子群算法的局部寻优能力比 FOA 要强、动态规划算法能求出更加精确的解等,因此,可以考虑把各种群算法的

优点引入到 FOA 中,这样优势互补,可以使算法更加实用高效。

(3) 目前多数文献都是在利用 FOA 优化比较经典的问题,这样就体现不出 FOA 的通用性,因此,以后的相关研究可以试着去将 FOA 应用到更加实际的问题中,比如:多目标、多条件、动态不确定性问题。

5 结束语

FOA 是潘文超老师在 2011 年提出的一种新群体智能优化算法,FOA 可调参数少,仅包含种群数目和最大迭代次数;搜索过程仅包括嗅觉搜索和视觉搜索两部分;全局寻优能力强。

FOA 属于人工智能的领域,在应用上无任何领域的限制,因此,在短短 6 年之内,就已经被成功地应用于求解数学函数极值、灰色神经网络参数优化、多维背包问题、支援向量回归参数优化等诸多领域。目前对 FOA 的研究大多注重于实际应用,对算法的内部机理研究比较少。相信在众多学者不断努力下,FOA 将会不断地被完善,也将会展现出更加广阔的发展和应用前景。

参 考 文 献

- Dorigo M, Gambardella L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1997; 1(1): 53—66
- Paravi Torghabeh R, Khaloozadeh H. Neural networks Hammerstein Model identification based on particle swarm optimization. *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*. New York:IEEE, 2008; 363—367
- Karaboga D, Akay B. A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied Mathematics & Computation*, 2009; 214(1): 108—132
- Pan W T. A new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example. *Knowledge-based Systems*, 2012; 26(2): 69—74
- 王 林, 吕盛祥, 曾宇容. 果蝇优化算法研究综述. *控制与决策*, 2017; 32(7): 1—9
Wang Lin, Lü Shengxiang, Zeng Yurong. Review of drosophila optimization algorithm. *Control and Decision Making*, 2017; 32(7): 1—9
- 吴小文, 李 擎. 果蝇算法和 5 种群智能算法的寻优性能研究. *火力与指挥控制*, 2013; (4): 17—20, 25
Wu Xiaowen, Li Qing. Study on the optimal performance of drosophila algorithm and 5-population intelligent algorithm. *Firepower and Command Control*, 2013; (4): 17—20, 25
- 臧文龙. 基于改进果蝇优化算法的多目标问题探讨. *统计与决策*, 2014; (9): 51—54
Zang Wenlong. Discussion on multi-objective problem based on improved drosophila optimization algorithm. *Statistics and Decision*, 2014; (9): 51—54
- 朱志同, 郭 星, 李 炜. 新型果蝇优化算法的研究. *计算机工程与应用*, 2017, 53(6): 40—45, 59
Zhu Zhitong, Guo Xing, Li Wei. Research on new fruit fly optimization algorithm. *Computer Engineering & Applications*, 2017; 53(6): 40—45, 59
- Wang Y W, Zhu J M, Feng L Z, *et al.* Novel fruit fly optimization algorithm based on near suburb and far suburb. *Computer Engineering*, 2017; 43(2): 210—214
- Shan D, Cao G H, Dong H J. LGMS-FOA: an improved fruit fly optimization algorithm for solving optimization problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013; (7): 1256—1271
- Pan Q K, Sang H Y, Duan J H, *et al.* An improved fruit fly optimization algorithm for continuous function optimization problems. *Knowledge-based Systems*, 2014; 62(5): 69—83
- Yuan X, Dai X, Zhao J, *et al.* On a novel multi-swarm fruit fly optimization algorithm and its application. *Applied Mathematics & Computation*, 2014; 233(3): 260—271
- Liu Z X, Wang Y F, Zhang Y. Multiple population fruit fly optimization algorithm for automatic warehouse order picking operation scheduling problem. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2014; 36(3): 71—77
- Zhang Q, Fang L, Zhao Y. Double subgroups fruit fly optimization algorithm with characteristics of Levy flight. *Journal of Computer Applications*, 2015; 35(5): 1348—1352
- Li D, Zhang W, Automation S O. Double subgroups fruit fly optimization algorithm for solving 0-1 knapsack problem. *Application Research of Computers*, 2015; (11): 3273—3277, 3282
- 王雅琳, 何海明, 孙 备, 等. 改进果蝇算法在净化除钴过程锌粉量优化设定中的应用. *控制理论与应用*, 2016; (5): 579—587
Wang Yalin, He Haiming, Sun Bei, *et al.* Application of improved drosophila algorithm in optimal setting of zinc powder in decontamination process. *Control Theory and Application*, 2016; (5): 579—587
- 刘成忠, 韩俊英. 基于细菌迁徙的自适应果蝇优化算法. *计算机工程与科学*, 2014; (4): 690—696
Liu Chengzhong, Han Junying. An adaptive fruit fly optimization algorithm based on bacterial migration. *Computer Engineering and Science*, 2014; (4): 690—696
- 张彩宏, 潘广贞. 融合禁忌搜索的混合果蝇优化算法. *计算机工程与设计*, 2016; (4): 907—913
Zhang Caihong, Pan Guangzhen. Optimization of hybrid fruit fly optimization algorithm based on fusion tabo search. *Computer Engineering and Design*, 2016; (4): 907—913
- 韩俊英, 刘成忠. 自适应调整参数的果蝇优化算法. *计算机工程与应用*, 2014; (7): 50—55
Han Junying, Liu Chengzhong. Optimization algorithm of fruit fly optimization with adaptive adjustment parameters. *Computer Engineering and Applications*, 2014; (7): 50—55
- Niu J, Zhong W, Liang Y, *et al.* Fruit fly optimization algorithm based on differential evolution and its application on gasification process operation optimization. *Knowledge-based Systems*, 2015; 88(C): 253—263
- Wu L, Zuo C, Zhang H. A cloud model based fruit fly optimization

- algorithm. Elsevier Science Publishers B V, 2015; 89: 603—617
- 22 Marko M, Najdan V, Milica P, *et al.* Chaotic fruit fly optimization algorithm. Knowledge-based Systems, 2015; 89(C): 446—458
- 23 Pan W T. Using modified fruit fly optimisation algorithm to perform the function test and case studies. Connection Science, 2013; 25 (2—3): 151—160
- 24 Dai H, Zhao G, Lu J, *et al.* Comment and improvement on “a new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example”. Knowledge-based Systems, 2014; 59: 159—160
- 25 Wang L, Shi Y, Liu S. An improved fruit fly optimization algorithm and its application to joint replenishment problems. Expert Systems with Applications, 2015; 42(9): 4310—4323
- 26 Li J, Pan Q, Mao K, *et al.* Solving the steelmaking casting problem using an effective fruit fly optimization algorithm. Knowledge-based Systems, 2014; 72: 28—36
- 27 Wang L, Liu R, Liu S. An effective and efficient fruit fly optimization algorithm with level probability policy and its applications. Elsevier Science Publishers B V, 2016; 97: 158—174
- 28 张磊, 刘成忠. 一种面向多模函数改进的果蝇优化算法. 计算机工程与科学, 2017; (1): 206—214
Zhang Lei, Liu Chengzhong. A drosophila optimization algorithm for multi-mode function improvement. Computer Engineering and Science, 2017; (1): 206—214
- 29 钟伟民, 牛进伟, 梁毅, 等. 多策略果蝇优化算法及其应用. 化工学报, 2015; (12): 4888—4894
Zhong Weimin, Niu Jinwei, Liang Yi, *et al.* Multi-strategy drosophila optimization algorithm and its application. Journal of Chemical Industry, 2015; (12): 4888—4894
- 30 张勇, 夏树发, 唐冬生. 果蝇优化算法对多峰函数求解性能的仿真研究. 暨南大学学报, 2014, 35(1): 82—87
Zhang Yong, Xia Shufa, Tang Dongsheng. Simulation of multi-peak function based on the fly optimization algorithm. Journal of Jinan university, 2014; 35(1): 82—87
- 31 张晓茹, 张著洪. 求解多模态函数优化的微果蝇优化算法. 信息与控制, 2016; (3): 361—370
Zhang Xiaoru, Zhang Zhuhong. Measurement of micro-fruit fly optimization algorithm based on multi-modal function optimization. Information and Control, 2016; (3): 361—370
- 32 刘琼, 赵海飞. 基于多目标果蝇算法面向低碳的车间布局与调度集成优化. 机械工程学报, 2017; 53(11): 122—133
Liu Qiong, Zhao Haifei. Multi-objective drosophila algorithm for low-carbon workshop layout and scheduling integration optimization. Journal of Mechanical Engineering, 2017; 53(11): 122—133
- 33 张其亮, 俞祚明. 基于优势种群的离散果蝇优化算法求解无等待流水车间调度问题. 计算机集成制造系统, 2017; (3): 609—615
Zhang Qiliang, Yu Zuoming. Multi-waiting flow shop scheduling problem based on optimal population. Computer Integrated Manufacturing System, 2017; (3): 609—615
- 34 Zheng X L, Wang L, Wang S Y, *et al.* A hybrid discrete fruit fly optimization algorithm for solving permutation flow-shop scheduling problem. Control Theory & Applications, 2014; 2013(1): 573014
- 35 Zheng X, Wang L. A knowledge-guided fruit fly optimization algorithm for dual resource constrained flexible job-shop scheduling problem. International Journal of Production Research, 2016; (18): 1—13
- 36 Li J Q, Pan Q K, Mao K. A hybrid fruit fly optimization algorithm for the realistic hybrid flowshop rescheduling problem in steelmaking Systems. IEEE Transactions on Automation Science & Engineering, 2016; 13(2): 932—949
- 37 Han Y, Gong D, Li J, *et al.* Solving the blocking flow shop scheduling problem with makespan using a modified fruit fly optimisation algorithm. International Journal of Production Research, 2016; 54 (22): 1—16
- 38 刘勇, 孙静杰, 王萱. 基于免疫果蝇混合优化算法的多配送中心选址问题研究. 世界科技研究与发展, 2015; (1): 83—87, 109
Liu Yong, Sun Jingjie, Wang Xuan. Study on location problem of multi-distribution center based on immune drosophila hybrid optimization algorithm. World Science and Technology Research and Development, 2015; (1): 83—87, 109
- 39 于博. 改进的果蝇优化算法在城市物流配送中心选址中的应用. 山东农业大学学报(自然科学版), 2015; (4): 632—635, 639
Yu Bo. The application of improved drosophila optimization algorithm in the location of urban logistics distribution center. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2015; (4): 632—635, 639
- 40 Mousavi S M, Alikar N, Niaki S T A, *et al.* Optimizing a location allocation-inventory problem in a two-echelon supply chain network: a modified fruit fly optimization algorithm. Computers & Industrial Engineering, 2015; 87(C): 543—560
- 41 赵晓军, 刘成忠, 胡小兵. 基于果蝇优化算法的PID控制器设计与应用. 中南大学学报(自然科学版), 2016; (11): 3729—3734
Zhao Xiaojun, Liu Chengzhong, Hu Xiaobing. Design and application of PID controller based on drosophila optimization algorithm. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2016; (11): 3729—3734
- 42 Li C, Xu S, Li W, *et al.* A novel modified fly optimization algorithm for designing the self-tuning proportional integral derivative controller. Journal of Convergence Information Technology, 2012; 7 (16): 69—77
- 43 Xu C. An improved fruit fly optimization algorithm and its application of PID parameters tuning. Journal of Information & Computational Science, 2015; 12(9): 3647—3654
- 44 Sheng W, Bao Y. Fruit fly optimization algorithm based fractional order fuzzy-PID controller for electronic throttle. Nonlinear Dynamics, 2013; 73(1—2): 611—619
- 45 Han J, Wang P, Yang X. Tuning of PID controller based on fruit fly optimization algorithm International Conference on Mechatronics and Automation. New York: IEEE, 2012: 409—413
- 46 Liu Y, Wang X, Li Y. A modified fruit-fly optimization algorithm aided PID controller designing intelligent control and automation. New York: IEEE, 2012: 233—238
- 47 Lei S, Wang Z B, Liu X H, *et al.* Cutting state diagnosis for shear through the vibration of rocker transmission part with an improved probabilistic neural network. Sensors, 2016; 16(4): 479
- 48 Wang W, Zhang M, Liu X. Improved fruit fly optimization algorithm optimized wavelet neural network for statistical data modeling for in-

- dustrial polypropylene melt index prediction. *Journal of Chemometrics*, 2015; 29(9): 506—513
- 49 孙 研. 基于果蝇优化算法与灰色神经网络的基金买卖决策仿真. *统计与决策*, 2013; (23): 57—59
Sun Yan. Simulation of fund trading decision based on drosophila optimization algorithm and gray neural network. *Statistics and Decision Making*, 2013; (23): 57—59
- 50 邹 兵, 陈西宏, 薛伦生, 等. 果蝇优化算法优化灰色神经网络的卫星钟差预报. *测绘科学*, 2014; (9): 44—48
Zou Bing, Chen Xihong, Xue Lunsheng, *et al.* Drosophila optimization algorithm to optimize the gray neural network satellite clock error prediction. *Surveying Science*, 2014; (9): 44—48
- 51 范 良, 赵国忱, 苏运强. 果蝇算法优化的广义回归神经网络在变形监测预报中的应用. *测绘通报*, 2013; (11): 87—89, 92
Fan Liang, Zhao Guochen, Su Yunqiang. Application of generalized regression neural network optimized by drosophila algorithm in deformation monitoring and forecasting. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2013; (11): 87—89, 92
- 52 Chen P W, Lin W Y, Huang T H, *et al.* Using fruit fly optimization algorithm optimized grey model neural network to perform satisfaction analysis for E-business service. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 2013; 7(2L): 459—465
- 53 Hu R, Wen S, Zeng Z, *et al.* A short-term power load forecasting model based on the generalized regression neural network with decreasing step fruit fly optimization algorithm. *Neurocomputing*, 2016; 221(C): 24—31
- 54 Li H Z, Guo S, Li C J, *et al.* A hybrid annual power load forecasting model based on generalized regression neural network with fruit fly optimization algorithm. *Knowledge-based Systems*, 2013; 37(2): 378—387
- 55 秦砺寒, 李顺昕, 韩江磊, 等. 基于 FOA 优化的 BP 神经网络在夏季空调降温负荷预测中的应用. *华东电力*, 2014; 42(12): 2708—2712
Qin Lihan, Li Shunxin, Han Jianglei, *et al.* Application of BP neural network based on FOA optimization in summer air conditioning cooling load forecasting. *East China Electric Power*, 2014; 42(12): 2708—2712
- 56 Pan W T, Huang C E, Chiu C L. Study on the performance evaluation of online teaching using the quantile regression analysis and artificial neural network. *The Journal of Supercomputing*, 2016; 72(3): 1—15
- 57 司刚全, 李水旺, 石建全, 等. 基于改进果蝇优化算法的最小二乘支持向量机参数优化方法研究及应用. *西安交通大学学报*, 2017; (6): 1—8
Si Gangquan, Li Shuiwang, Shi Jianquan, *et al.* Research and application of parameter optimization method for least squares support vector machine based on improved drosophila optimization algorithm. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2017; (6): 1—8
- 58 王雪刚, 邹早建. 基于果蝇优化算法的支持向量机参数优化在船舶操纵预报中的应用. *上海交通大学学报*, 2013; (6): 884—888
Wang Xuegang, Zou Zaojian. Application of support vector machine parameter optimization based on drosophila optimization algorithm in ship maneuvering forecasting. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2013; (6): 884—888
- 59 Li M W, Geng J, Han D F, *et al.* Ship motion prediction using dynamic seasonal RvSVR with phase space reconstruction and the chaos adaptive efficient FOA. *Neurocomputing*, 2016; 174(B): 661—680
- 60 Shen L, Chen H, Yu Z, *et al.* Evolving support vector machines using fruit fly optimization for medical data classification. *Knowledge-based Systems*, 2016; 96(C): 61—75
- 61 高雷阜, 赵世杰, 于冬梅, 等. 果蝇耦合均匀设计算法及其优化 SVM 参数. *计算机工程与科学*, 2016; (5): 954—959
Gao Leifu, Zhao Shijie, Yu Dongmei, *et al.* Following coupling uniform design algorithm and optimized SVM parameters. *Computer Engineering and Science*, 2016; (5): 954—959
- 62 郭 凡, 丁永生, 郝矿荣, 等. 基于果蝇算法优化支持向量回归机的纺丝性能预测. *系统仿真学报*, 2014; (10): 2360—2364
Guo Fan, Ding Yongsheng, Hao Kuangrong, *et al.* Prediction of spinning performance based on drosophila algorithm optimization support vector regression machine. *Journal of System Simulation*, 2014; (10): 2360—2364
- 63 Ding S, Zhang X, Yu J. Twin support vector machines based on fruit fly optimization algorithm. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2016; 7(2): 193—203
- 64 Yu Y, Li Y, Li J, *et al.* Self-adaptive step fruit fly algorithm optimized support vector regression model for dynamic response prediction of magnetorheological elastomer base isolator. *Neurocomputing*, 2016; 211: 41—52
- 65 Wang W, Liu X. Melt index prediction by least squares support vector machines with an adaptive mutation fruit fly optimization algorithm. *Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems*, 2015; 141: 79—87
- 66 Wu L, Cao G. Seasonal SVR with FOA algorithm for single-step and multi-step ahead forecasting in monthly inbound tourist flow. *Knowledge-based Systems*, 2016; 110: 157—166
- 67 Yuan X, Liu Y, Xiang Y, *et al.* Parameter identification of BIPT system using chaotic-enhanced fruit fly optimization algorithm. *Applied Mathematics & Computation*, 2015; 268(C): 1267—1281
- 68 王克甫, 薛 鹏, 黄全振, 等. 求解旅行商问题的改进果蝇算法. *计算机工程与设计*, 2014; (8): 2789—2792, 2821
Wang Kefu, Xue Peng, Huang Quanzhen, *et al.* Improved drosophila algorithm for traveling salesman problem. *Computer Engineering and Design*, 2014; (8): 2789—2792, 2821
- 69 Bai H, Miao S, Ran X, *et al.* Optimal dispatch strategy of a virtual power plant containing battery switch stations in a unified electricity market. *Energies*, 2015; 8(3): 2268—2289
- 70 Bian X Y, Geng Y, Lo K L, *et al.* Coordination of PSSs and SVC damping controller to improve probabilistic small-signal stability of power system with wind farm integration. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2016; 31(3): 2371—2382
- 71 Zeng F, Xie H, Liu Q, *et al.* Design and optimization of a new composite bumper beam in high-speed frontal crashes. *Structural & Multidisciplinary Optimization*, 2016; 53(1): 1—8
- 72 Mousavi S M, Alikar N, Niaki S T A. An improved fruit fly optimization algorithm to solve the homogeneous fuzzy series-parallel redundancy allocation problem under discount strategies. *Soft Computing*, 2016; 20(6): 2281—2307

73

Crawford B, Soto R, Torres-Rojas C, *et al.* A binary fruit fly optimization algorithm to solve the set covering problem. *Computational Science and Its Applications*. [S. l.] ICCSA, 2015:411—420.

74

陈 涛, 郭广礼, 朱晓峻, 等. 利用果蝇算法反演概率积分法开采沉陷预计参数. *金属矿山*, 2016; (06): 185—188
Chen Tao, Guo Guangli, Zhu Xiaojun, *et al.* Preparation parameters of mining subsidence by using fruit fly algorithm inversion probabilistic integral method. *Metal Mine*, 2016; (6): 185—188

75

Zhang Y W, Wu J T, Guo X, *et al.* Optimizing web service composition based on differential fruit fly optimisation algorithm. *International Journal of Computing Science & Mathematics*, 2016;7(1):87

76

Xu W, Deng X, Li J. A new fuzzy portfolio model based on background risk using MCFOA. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2015; 17(2): 246—255

77

He Z, Qi H, Yao Y, *et al.* Inverse estimation of the particle size distribution using the fruit fly optimization algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 2015; 88: 306—314

78

Lei X, Ding Y, Fujita H, *et al.* Identification of dynamic protein complexes based on fruit fly optimization algorithm. *Knowledge-based Systems*, 2016; 105(C): 270—277

79

Xing Y. Design and optimization of key control characteristics based on improved fruit fly optimization algorithm. *Kybernetes*, 2013; 42(3): 466—481

80

Zheng X L, Wang L, Wang S Y. A novel fruit fly optimization algorithm for the semiconductor final testing scheduling problem. *Knowledge-based Systems*, 2014; 57(2): 95—103

Literature Survey of Fruit Fly Optimization Algorithm

LI Shao-bo¹, ZHAO Hui^{1*}, ZHANG Cheng-long², ZHENG Kai¹
(School of Mechanical Engineering¹, College of Big Data and Information Engineering²,
Guizhou University, Guiyang 550025, China)

[**Abstract**] Fruit fly optimization algorithm (FOA) is a new group of intelligent algorithms, the idea of fruit fly from the group foraging behavior. In order to further popularize and apply FOA and provide relevant information for further study of the algorithm, based on the analysis of FOA basic principle and advantages and disadvantages, the improvement strategy of FOA from various aspects of improvement technology and its application are discussed, and the application of FOA in complex function optimization, parameter optimization and combinatorial optimization is expounded. Finally, the development trend of FOA is proposed.

[**Key words**] fruit fly optimization algorithm improve strategy applied research