

本文引用格式：胡城,蔡延光,黄嘉铨,等.蚁狮优化算法研究综述[J].自动化与信息工程,2024,45(3):1-10;15.

HU Cheng, CAI Yanguang, HUANG Jiacheng, et al. A review of ant lion optimization algorithms research[J]. Automation & Information Engineering, 2024,45(3):1-10;15.

# 蚁狮优化算法研究综述\*

胡城 蔡延光 黄嘉铨 曾庆丰

(广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 蚁狮优化 (ALO) 算法是通过模拟自然界中蚁狮捕食蚂蚁的狩猎机制而提出的一种新型元启发式算法, 广泛应用于各种优化问题, 具有全局寻优能力强、收敛精度高、简单易实现等特点。首先, 简述 ALO 算法的原理及流程; 然后, 阐述 ALO 算法的多种变体; 接着, 介绍 ALO 算法在工程设计、人工智能、计算机科学、电力系统优化、控制系统等领域的应用; 最后, 对 ALO 算法进行总结, 并提出建议和未来可能的研究方向。

**关键词:** 蚁狮优化算法; 元启发式算法; 综述

**中图分类号:** TP301.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-2605(2024)03-0001-11

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-2605.2024.03.001

## A Review of Ant Lion Optimization Algorithms Research

HU Cheng CAI Yanguang HUANG Jiacheng ZENG Qingfeng

(College of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** The ant lion optimization (ALO) algorithm is a novel metaheuristic algorithm proposed by simulating the hunting mechanism of ant lions in nature. It is widely used in various optimization problems and has the characteristics of strong global optimization ability, high convergence accuracy, and easy implementation. Firstly, briefly describe the principle and process of ALO algorithm; Then, elaborate on the various variants of the ALO algorithm; Next, introduce the applications of ALO algorithm in engineering design, artificial intelligence, computer science, power system optimization, control systems, and other fields; Finally, summarize the ALO algorithm and propose suggestions and possible future research directions.

**Keywords:** ant lion optimization algorithm; metaheuristic algorithm; summarize

## 0 引言

近年来, 随着研究人员对元启发式算法的不断探索, 以及对自然现象、科学规律、自然界生物种群行为等的深入研究, 各种新型元启发式算法不断涌现。如通过对自然现象的研究, 提出了静电放电算法<sup>[1]</sup>、向日葵优化算法<sup>[2]</sup>等; 通过对科学规律的研究, 提出了基于牛顿冷却定律的热交换优化算法<sup>[3]</sup>、基于经济学供求机制的供需算法<sup>[4]</sup>等; 通过对生物种群行为的研究, 提出了模拟帝企鹅抱团行为的帝企鹅优化算法<sup>[4]</sup>、樽海鞘算法<sup>[5]</sup>、麻雀搜索算法<sup>[6]</sup>等。这些算法在解决各种优化问题时, 相较于传统的优化算法, 在搜索效率、鲁棒性等方面均表现出良好的效果, 被广泛

应用于各个领域。

蚁狮优化 (ant lion optimizer, ALO) 算法是 MIRJALILI 等<sup>[7]</sup>于 2015 年通过研究蚁狮捕食蚂蚁的机制而提出的一种新型元启发式算法, 被广泛应用于工程学、计算机科学、人工智能及控制系统等领域。

## 1 ALO 算法原理

MIRJALILI 等发现蚁狮为捕食蚂蚁, 会构建一个锥形凹坑陷阱, 并隐藏在陷阱底部等待蚂蚁落入。当蚂蚁落入陷阱后尝试逃离时, 蚁狮把沙子抛向陷阱的边缘使蚂蚁滑向坑底。当蚁狮捕获并吃掉蚂蚁后, 会修缮陷阱以备下次捕食。ALO 算法模拟了蚁狮狩猎过

\* 基金项目: 广东省科技计划项目 (2016A050502060, 2020B1010010005); 广州市科技计划项目 (202206010011, 2023B03J1339)。

程中的随机游走、设置陷阱、诱捕蚂蚁、捕食蚂蚁、精英策略 5 种主要行为，而将这 5 种行为表示为数学模型是 ALO 算法的核心。

### 1.1 随机游走

蚂蚁在自然界中的觅食行为是随机游走的，ALO 算法用蚂蚁的随机游走行为表示其优化步骤，该过程的数学模型为

$$X(t) = [0, \text{cumsum}(2r(t_1) - 1), \text{cumsum}(2r(t_2) - 1), \dots, \text{cumsum}(2r(t_n) - 1)] \quad (1)$$

式中： $\text{cumsum}$  为计算累加和； $n$  为最大迭代次数； $t$  为迭代次数； $r(t)$  为随机函数，定义为

$$r(t) = \begin{cases} 1 & R_{\text{rand}} > 0.5 \\ 0 & R_{\text{rand}} \leq 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

式中： $R_{\text{rand}}$  为  $[0,1]$  区间内均匀分布的随机数。

由于可行域具有边界，为确保蚂蚁随机游走始终在可行域内，根据公式(3)进行蚂蚁位置归一化处理。

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i) \times (d_i^t - c_i^t)}{(b_i - a_i)} + c_i^t \quad (3)$$

式中： $a_i$  为第  $i$  维变量步长的最小值， $b_i$  为第  $i$  维变量步长的最大值， $c_i^t$  为第  $i$  维变量在第  $t$  次迭代的最小值， $d_i^t$  为第  $i$  维变量在第  $t$  次迭代的最大值。

### 1.2 设置陷阱

蚁狮构建的陷阱会影响蚂蚁的随机游走，陷阱中的蚂蚁随机游走的数学表达为

$$c_i^t = A_{\text{antlion}_j}^t + c^t \quad (4)$$

$$d_i^t = A_{\text{antlion}_j}^t + d^t \quad (5)$$

式中： $c^t$  为第  $t$  次迭代时所有变量的最小值， $d^t$  为第  $t$  次迭代时所有变量的最大值， $A_{\text{antlion}_j}^t$  为第  $t$  次迭代时所选择的蚁狮  $j$ 。

### 1.3 诱捕蚂蚁

当蚂蚁落入陷阱时，蚁狮向陷阱边缘抛洒沙子，使试图逃离的蚂蚁滑向坑底。ALO 算法采用基于适应

度的轮盘赌随机选择蚁狮，并自适应地减小陷阱半径，这一过程的数学模型为

$$c^t = \frac{c^t}{I} \quad (6)$$

$$d^t = \frac{d^t}{I} \quad (7)$$

式中： $I$  为自适应边界收缩因子，定义为

$$I = \begin{cases} 1 & t \leq 0.1T \\ 10^w \times \frac{t}{T} & t > 0.1T \end{cases} \quad (8)$$

$$w = \begin{cases} 2 & 0.1T < t \leq 0.5T \\ 3 & 0.5T < t \leq 0.75T \\ 4 & 0.75T < t \leq 0.9T \\ 5 & 0.9T < t \leq 0.95T \\ 6 & t > 0.95T \end{cases} \quad (9)$$

式中： $T$  为最大迭代次数， $w$  为随着迭代次数变化而不断变大的变量。

### 1.4 捕食蚂蚁

蚂蚁落入坑底后，蚁狮会移动至蚂蚁所在的位置并捕食蚂蚁。为模拟蚁狮捕食蚂蚁的行为，ALO 算法比较了蚁狮与蚂蚁当前的适应度值。若蚂蚁的适应度值优于蚁狮，则将蚁狮位置更新为蚂蚁位置。模拟蚁狮捕食过程的数学表达为

$$A_{\text{antlion}_j}^t = A_{\text{anti}_i}^t, f(A_{\text{anti}_i}^t) < f(A_{\text{antlion}_j}^t) \quad (10)$$

式中： $A_{\text{anti}_i}^t$  为第  $t$  次迭代时的蚂蚁  $i$ ， $f$  为适应度函数。

### 1.5 精英策略

将每次迭代获取的当前最佳蚁狮作为精英蚁狮并记录，精英蚁狮在下次迭代时会影响蚂蚁的随机游走，即蚂蚁的随机游走过程受轮盘赌选择蚁狮和精英蚁狮的共同影响。轮盘赌选择蚁狮和精英蚁狮的随机游走过程的数学表达式为

$$A_{\text{anti}_i}^t = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (11)$$

式中:  $R'_A$  为第  $t$  次迭代时轮盘赌所选的蚁狮随机游走的新位置,  $R'_E$  为第  $t$  次迭代时精英蚁狮随机游走的新位置。

ALO 算法流程图如图 1 所示。

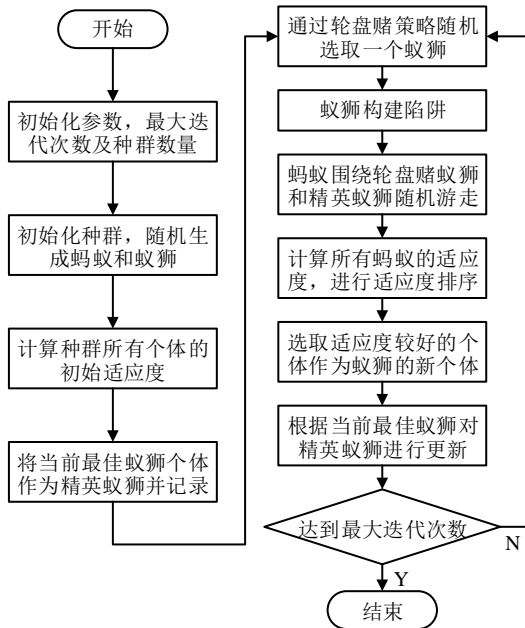


图 1 ALO 算法流程图

## 2 改进策略

随着 ALO 算法研究的深入, 其在各领域应用场景的复杂程度越来越高, 约束限制条件也逐渐增多, 导致 ALO 算法出现了过早收敛和易陷入局部最优解等问题。为了进一步增强 ALO 算法的性能, 许多学者开展了深入研究并设计了一系列不同类型的改进 ALO 算法, 如改进增强型、混合变异型、多目标型等。

### 2.1 改进增强型 ALO 算法

#### 2.1.1 改进种群

CHEN 等<sup>[8]</sup>提出一种基于 Spark 并行策略的 ALO 算法, 首先, 将初始种群划分为几个子种群; 然后, 将子种群分配到弹性分布式数据集的各个分区独立进化, 同时利用迁移算子实现子种群间的信息交换; 实验结果表明, 与传统 ALO 算法相比, 该算法能够在随机森林参数调整中获得更优的参数组合。SAHA 等<sup>[9]</sup>提出一种拟对立混沌蚁狮算法解决全局优化问题, 其基于准对立学习策略生成初始种群, 并在主要搜索

策略中采用基于准对立学习的生成跳跃策略, 确保良好的收敛速度; 引入了混沌局部搜索, 更好地利用搜索空间; 并在 19 个基准测试函数和 3 个工程优化问题实验中验证了该算法的性能。

#### 2.1.2 行为策略

YAO 等<sup>[10]</sup>针对无人机航路规划问题, 提出一种动态自适应蚁狮优化算法, 以 Levy 飞行策略取代蚂蚁的随机游走, 并引入种群改善率作为反馈, 基于 1/5 原理动态地调整陷阱大小; 实验证明了在山地和城市两种环境下, 该算法寻找最优路径的有效性、鲁棒性和可行性。PENG 等<sup>[11]</sup>提出一种基于 Levy 飞行和自适应策略的蚁狮优化 (Levy flight and self-adaptive strategy of ant lion optimization, LSALO) 算法, 自适应边界策略增加了种群多样性, Levy 飞行可有效避免陷入局部最优, 加快全局收敛; 实验结果表明, 该算法性能优于粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO) 算法和 ALO 算法。KILIC 等<sup>[12]</sup>为缩短 ALO 算法随机游走的时间, 改进随机游走模型, 提出基于竞赛选择的 ALO 算法, 利用锦标赛机制代替轮盘赌选择, 提出边界值的再现机制; 通过基准测试和自适应模糊神经网络测试的结果表明, 该算法比 ALO 算法性能更优。

GUO 等<sup>[13]</sup>提出一种基于螺旋复杂路径搜索模式的改进算法, 采用 8 种螺旋路径搜索策略, 提高种群的多样性、平衡搜索和开发能力; 应用结果表明, 该算法能够较好地解决函数优化、经典工程约束和多目标函数优化等问题。HUANG 等<sup>[14]</sup>针对现有 ALO 算法无法很好地解决三维路径规划的问题, 将混沌调节因子和反调节因子分别引入蚂蚁和蚁狮的行为中, 提高了 ALO 算法的搜索能力, 在三维环境模型的基础上, 充分利用地形和约束条件减少搜索空间; 经三维路径规划仿真, 验证了该算法的可行性和有效性。

#### 2.1.3 引入机制

YAO 等<sup>[15]</sup>提出一种基于虚拟力导向的蚁狮优化 (virtual force-directed ant lion optimization, VF-IALO) 算法, 用于解决复杂监测区域的无线传感器部署问题; 通过 30 个传感器的部署实验结果表明, 该算法能够有效避免出现最佳部署位置偏移和覆盖空洞的现象。

YE 等<sup>[16]</sup>提出一种二进制编码的 ALO 算法求解神经网络的结构优化问题,并通过实验验证了该算法实现神经网络结构优化的可行性和有效性。POONGAVANAM 等<sup>[17]</sup>结合泰勒级数与 ALO 算法,提出一种基于泰勒 ALO 的生成对抗性方法,用于预测可再生能源;基于人均消费数据进行了实验,实验结果验证了该方法具有良好的性能。

MAFARJA 等<sup>[18]</sup>将两种增量爬坡技术(粗糙集属性快速约简算法和基于条件熵的有核知识约简算法)与 ALO 算法结合,提出一种新的模型;测试结果表明,该模型在搜索特征空间寻找最优特征组合时具有较好的性能。LI 等<sup>[19]</sup>基于 ALO 算法提出一种高效马氏抽样代理模型;选取 7 个不同特征的基准函数进行实验,结果表明该模型具有较强的竞争力。

#### 2.1.4 其他

EMARY 等<sup>[20]</sup>提出二元蚁狮优化(binary variants of the ant lion optimizer, BALO)算法;在 UCI 标准测试数据库中的 21 个数据集上,将 BALO 算法与 PSO 算法、遗传算法、二进制蝙蝠算法和 ALO 算法进行对比实验,验证了 BALO 算法的有效性。CHEN 等<sup>[21]</sup>提出一种改进的蚁狮(improved ant lion optimizer, IALO)算法,采用布谷鸟搜索算法和柯西突变交替进行位置更新,增加了种群的多样性,加快了收敛速度;引入差分进化(differential evolution, DE)算法实现蚂蚁的个体变异,提高了收敛精度;通过 9 个基准函数对比实验证明了 IALO 的性能,应用于无线传感器网络中的覆盖优化问题,降低了部署成本。SUBHASHINI 等<sup>[22]</sup>为确定天线阵列中的元素和元素激励之间的最佳间距,提出一种增强型蚁狮优化(e-ALO)算法,利用统计概率密度函数代替均匀分布函数来生成随机数,并在精英化过程中对被选择的蚁狮和精英分配了不同的权重因子;将该算法应用于天线阵列综合问题,针对不同的天线几何形状,优化单元间距和单元激励,以最小化副瓣电平为目标,验证了其具有良好的性能。

#### 2.2 混合变异型 ALO 算法

HANS 等<sup>[23]</sup>结合正余弦算法与 ALO 算法,提出

一种混合正余弦蚁狮优化(sine cosine ant lion optimizer, SCALO)算法,应用于数据的特征选择问题,以消除不恰当的特征,提高分类算法的准确性;通过 18 个数据集的对比实验结果表明,在解决特征选择问题的各种评估准则上,该算法比其他算法的表现更好。TAKEANG 等<sup>[24]</sup>针对具有非光滑成本函数特性的经济调度问题,提出 ALO 和 PSO 混合(HALO-PSO)算法;经由 6 个或 13 个发电机组成的系统测试结果表明,该算法能够快速收敛并获取高质量的解。SITA 等<sup>[25]</sup>结合 ALO 算法和蝗虫优化算法,提出蝗虫蚁狮集成优化算法(integrated ant lion grasshopper optimization algorithm, IALGOA),用于解决联合经济排放调度问题;在标准 IEEE-30 总线测试系统下,与 PSO 算法、引力搜索算法和自适应风驱动优化等算法进行对比分析,证明了其具有良好的收敛特性。

SANTHAKUMAR 等<sup>[26]</sup>提出一种混合蚁狮突变蚁群优化算法,用于微阵列数值分析进行基因表达谱的分类研究;基于白血病数据集进行实验研究,实验结果表明该算法表现出色。MAGESHKUMAR 等<sup>[27]</sup>结合 ALO 算法和蚁群优化(ant colony optimization, ACO)算法,提出一种新的混合算法,用于解决数据聚类问题,并引入柯西突变算子,避免陷入局部极小;实验结果表明,该混合算法优于传统数据聚类算法,能获取更优的聚类结果。PRADHAN 等<sup>[28]</sup>结合 ALO 算法与混沌粒子群算法,提出改进的蚁狮优化(modified ant lion optimization, MALO)算法,并利用 MALO 算法优化激励的振幅、相位和单元间距,合成基于切比雪夫的阵列,同时实现了波束转向及零位定位;与其他优化算法和均匀阵列优化的阵列相比, MALO 算法能够提供更优的阵列模式。STRUMBERGER 等<sup>[29]</sup>融合 ALO 算法与萤火虫算法(firefly algorithm, FA),用于快速有效地解决特征选择问题,提高了算法的搜索能力;将该算法在 10 个 UCL 数据集和 COVID-19 数据集上进行测试实验,实验结果证明了其有效性。

LIU 等<sup>[30]</sup>结合 ALO 算法和 DE 算法的优点,提出一种基于 ALO 的 DE 算法;针对基准集和聚类问

题进行实验,实验结果表明该算法可较好地平衡全局搜索和局部开发。CHANDRASEKARAN 等<sup>[31]</sup>结合蜻蜓算法和 ALO 算法,提出一种新的算法,用于最小化片上系统的测试成本和测试时间;在基准电路上,该算法与 ACO 算法、改进蚁群算法、人工蜂群算法、改进人工蜂群算法、FA、改进 FA 和蝙蝠算法进行对比实验,实验结果表明该算法的效果最优。

TIAN 等<sup>[32]</sup>结合 ALO 算法与 PSO 算法,提出一种用于水轮机调节系统参数辨识的改进蚁狮算法,引入混沌变异使算法具有跳出局部最优的能力,利用串并联组合的方法增加突变群体的多样性;对比仿真实验结果证明,该算法具有良好的收敛精度和较高的稳定性。ZHANG 等<sup>[33]</sup>针对传统跟踪器不适应突变运动的问题,提出一种基于扩展的正余弦算法(sine cosine algorithm, SCA)与 ALO 算法的混合跟踪算法;实验结果表明,该算法在突变运动跟踪方面具有较强的竞争力。

### 2.3 多目标型 ALO 算法

MIRJALILI 等<sup>[34]</sup>提出一种多目标的蚁狮优化(multi-objective ant lion optimizer, MOALO)算法,利用存储库来存储 Pareto 非支配最优解,采用轮盘赌机制选择解来引导蚂蚁;将 MOALO 算法与非支配解排序遗传算法 II(non-dominated sorting genetic algorithm II, NSGA-II)和多目标粒子群优化(multi-objective particle swarm optimization, MOPSO)算法在多个多目标工程设计问题中进行仿真对比,仿真结果表明 MOALO 算法具有较高的收敛性和覆盖性,且在解决实际的多目标工程优化问题方面具有一定的适用性。WANG 等<sup>[35]</sup>将备件网络优化问题描述为多目标和多约束的混合非线性整数规划模型,并提出一种改进的多目标蚁狮算法进行求解,利用 Levy 飞行和基于准对立面学习策略来提高 ALO 算法的性能。RANI 等<sup>[36]</sup>提出一种基于 Pareto 的多目标离散蚁狮优化算法,用于优化云数据中心工作流调度的完工时间和能耗的双目标最小化问题,能够获得良好的收敛性和均匀分集的折中解。

LIU 等<sup>[37]</sup>提出一种基于 ALO 算法的多目标变体

算法,采用结合帕累托优势关系和个体距离信息的方法来更新 Pareto 记录,利用时间权重解决精英和蚁狮的选取问题,并对 Pareto 记录执行变异操作,进一步提高了算法性能;采用 11 个函数、4 种算法和 4 个指标进行实验,验证了该算法具有较好的性能和较低的时间复杂度。COELHO 等<sup>[38]</sup>基于混沌映射对 MOALO 算法进行改进,实现控制参数的设置,以解决双目标的变压器设计优化问题;仿真实验证明了其有效性。

## 3 ALO 算法应用与趋势

ALO 算法在全局搜索能力、避免局部最优及收敛效率等方面具有较强的竞争力,广泛应用于工程设计、人工智能、计算机科学、电力系统优化、控制系统等领域。检索 Web of Science 的数据显示,ALO 算法相关论文在各研究领域的分布如图 2 所示。

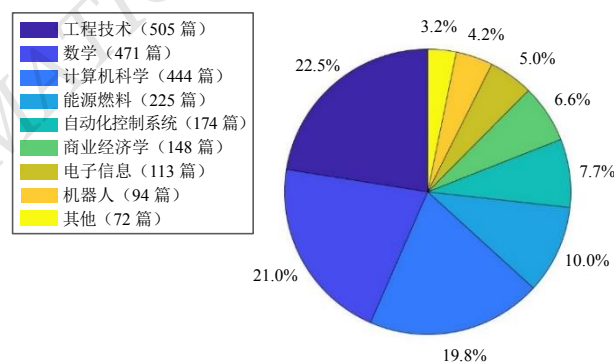


图 2 ALO 算法相关论文在各研究领域的分布

### 3.1 工程设计领域

YILDIZ 等<sup>[39]</sup>采用拉丁超立方体方法创建汽车连杆的最佳结构模型,并进行应力分析,根据产生的应力分析响应确定目标函数和约束函数的方程,利用 ALO 算法进行求解,实现了汽车连杆的优化设计。YILDIZ 等<sup>[40]</sup>在解决 6 个机械工程优化问题时,对包括 ALO 算法在内的 10 种元启发式算法的收敛速度、解的质量和鲁棒性等性能指标进行定量和定性测试分析;结果证明了 ALO 算法的有效性。MISHRA 等<sup>[41]</sup>将 ALO 算法应用于结构损伤评估,基于振动数据对不同损伤设置基准问题;实验结果表明,ALO 算法可以有效识别结构损伤的位置和程度。

### 3.2 人工智能领域

DONG 等<sup>[42]</sup>在 ALO 算法的基础上提出一种关联规则提取算法,用于解决 FP-Growth 算法对大型数据集学习效率低的问题;在多种数据集上进行实验,验证了该算法的有效性和良好性能。YUAN 等<sup>[43]</sup>针对长短时记忆 (long short-term memory, LSTM) 网络的参数对预测性能的影响,采用 ALO 算法对 LSTM 网络的参数进行标定,并提出 LSTM-ALO 模型;通过对阿斯托河流域历史月径流量的对比模拟,验证了 LSTM-ALO 模型比传统模型具有更高的精度。SINGH 等<sup>[44]</sup>提出一种改进的 ALO 算法,通过最近邻分类器的参数搜索特征子集和最佳特征权重,提高数据预处理的质量,以获得更优分类问题的广义预测模型,提高了机器学习算法的性能。

LIU 等<sup>[45]</sup>为解决车辆状态估计问题,提出一种基于 ALO 算法的无迹卡尔曼滤波器状态参数估计器,利用 ALO 算法优化无迹卡尔曼滤波器滤波过程中噪声协方差矩阵的不确定性;通过回转公路的运行工况仿真实验,证明了该算法能够有效、准确地解决车辆状态估计问题。JIANG 等<sup>[46]</sup>为提高短期风电的预测精度,提出一种基于改进的 ALO 算法优化 BP 神经网络的短期风电预测模型,并利用 IALO 算法优化 BP 神经网络的权值和阈值,提高 BP 神经网络的收敛速度和泛化能力;通过爱尔兰某风电场的测试数据表明,IALO-BP 模型在预测精度和稳定性方面均优于 BP 神经网络模型、广义回归神经网络模型和支持向量回归模型。

HASSIM 等<sup>[47]</sup>将 ALO 算法作为函数连接神经网络 (functional-link neural network, FLNN) 的学习算法,训练用于分类任务的 FLNN,以解决反向传播算法易陷入局部极小值的问题;将 FLNN-ALO 模型与标准的 FLNN 模型进行分类结果进行比较,验证 FLNN-ALO 模型可以有效解决分类任务,并具有较高的准确性。LI 等<sup>[48]</sup>针对传统锂离子电池管理系统的健康状态估计精度低的问题,提出一种基于改进 ALO 算法和支持向量回归的健康状态估计方法;在 NASA 的电池数据集上对不同工况的电池进行实验,验证了该方法对

电池健康状态具有较高的估计精度和鲁棒性,估计误差稳定在 2% 以内。

### 3.3 计算机科学领域

FARRAG 等<sup>[49]</sup>提出一种基于 ALO 算法的云计算环境实现方法,提高了云计算环境的负载平衡性能,解决了动态环境下最大限度地减少完工时间调度和有效利用资源的需求。YOGARAJAN 等<sup>[50]</sup>提出一种适用于无线传感器网络的启发式 ALO 聚类算法,优化了无线传感器网络的能量利用效率,提高了网络的生存期和吞吐量,减少了单个节点数量,优化了集群的移动数据收集巡回方式最优。WEI 等<sup>[51]</sup>为提高软件测试效率,利用 ALO 算法解决智能物联网电表测试套件缩减的问题;实验结果表明,与同类算法相比,ALO 算法在测试套件缩减问题上具有更好的表现。

### 3.4 电力系统优化领域

DUBEY 等<sup>[52]</sup>采用 ALO 算法解决带风集成的热液发电调度问题;在 4 个标准测试系统上进行对比实验,实验结果表明该方法能够提供高效的解决方案。ENGEL 等<sup>[53]</sup>采用 ALO 算法寻找部分遮光光伏组件的全局最大功率点,用于解决非均匀太阳辐射水平下光伏组件的最大功率点跟踪问题;仿真结果表明,ALO 算法的性能优于传统的扰动观测算法。ALI 等<sup>[54-55]</sup>提出一种改进的蚁狮优化算法 (ant lion optimization algorithm, ALOA),用于解决配电系统中基于分布式发电 (distributed generation, DG) 可再生能源的最优选址及确定规模的问题;将改进的 ALOA 在两个 IEEE 径向配电系统上进行比较测试,发现改进的 ALOA 在降低总功耗上具有优势,能够有效改善不同配电系统和负载条件的电压分布。

LI 等<sup>[56]</sup>在储能集成的 DG 优化规划中,为解决 DG 的最佳安装容量问题,利用 MOALO 算法获取 Pareto 最优解,结合灰色关系投影方法识别最佳折中解,在考虑 DG 不确定输出的前提下,确定 DG 的最佳安装容量;在 PG&E69-bus 总线配电系统上的测试结果表明,该算法优于 NSGA-II 算法、MOPSO 算法、多目标和声搜索算法。WANG 等<sup>[57]</sup>提出一种基于改进的灰度预测模型的混合预测模型,利用 MOALO 算

法进行模型优化;以多个地区的年用电量数据进行实验,证明了该模型高效且准确。TRIVEDI 等<sup>[58]</sup>应用 ALO 算法优化现代电力系统中的最优功率流问题,对标准的 IEEE-30 总线系统的燃料成本降低、电压偏差最小化和电压稳定性等问题进行改进;实验结果表明,与 FA 和 PSO 算法相比,ALO 算法能够得到更好的优化值。UMAMAHESWARI 等<sup>[59-60]</sup>利用 ALO 算法解决考虑可靠性的发电机预防性维修计划优化问题,提高了电力系统的整体性能;在 IEEE-30 总线、RTS-9 单元、21 单元和 IEEE-32 单元等标准测试系统上进行测试实验,验证了 ALO 算法是解决随机预防性问题的有效方法。KAMBOJ 等<sup>[61]</sup>介绍了 ALO 算法在求解电力系统非凸动态经济负荷调度问题中的应用;在小型电力系统的 4 个 IEEE 基准的经济负荷调度问题上对 ALO 算法的性能进行比较测试,验证了 ALO 算法性能的优越性。

### 3.5 控制系统领域

MOKEDDEM 等<sup>[62]</sup>利用 ALO 算法确定 PID 滑动表面参数的最优值,提出一种具有 PID 滑动面的滑膜控制系统,保证鲁棒滑膜控制器对不确定性条件、非线性动力学和外部干扰不敏感,并允许系统到达最大切换和最小抖振;与传统滑膜控制器相比,该控制系统具有更好的跟踪性能。PRADHAN 等<sup>[63]</sup>针对延迟系统和高阶系统,设计基于 ALO 算法的分数阶 PID 控制器,利用 ALO 算法优化控制器的参数,并对绝对误差积分 (IAE)、平方误差积分 (ISE)、时间乘方误差积分 (ITAE) 和时间乘方绝对误差积分 (ITSE) 等性能指标进行优化;在 Simulink/MATLAB 环境下进行仿真实验,验证了该控制器在瞬态响应和频率响应方面的优势。

SPOLJARIC 等<sup>[64]</sup>将 ALO 算法用于闭环电机控制模块中自动电压控制器 (automatic voltage regulator, AVR) 的调谐;利用测试案例进行模拟实验,通过对 PID 控制器参数进行微调,利用单目标优化方法来获取目标函数的最小值,并与 AVR 控制器的其他优化算法进行比较分析,证明了 ALO 算法的有效性和可靠性。MARHOON 等<sup>[65]</sup>将 ALO 算法应用于电液位置

伺服控制方案,增强和改进了传统的 PID 控制器液压缸的工作性能,使 PID 控制器达到最佳性能;利用 Simulink/MATLAB 进行仿真实验,证明了 ALO 算法在电液位置伺服控制方案的应用潜力。

KOUBA 等<sup>[66]</sup>为解决最优负载频率控制问题,将 ALO 算法应用于系统的各控制区域的 PID 控制器参数优化,实现频率和联络线功率流交换偏差的最小值;该控制策略在标准的两区电力系统和地中海互联电力系统的大西南三区部分进行了测试,验证了 ALO 算法能够解决线性频率调频的问题,且能够实现更小的频率和联络线功率流交换偏差。JIN 等<sup>[67]</sup>为求解一种自抗扰控制器的参数优化问题,基于 ALO 算法提出一种微分步缩自适应蚁狮算法,引入 DE 策略来提高种群多样性,提高了全局搜索能力,并采用步长放缩来保证局部搜索的精度。

## 4 结论与展望

本文针对近年来 ALO 算法的相关文献进行了整理分析,概述了 ALO 算法的基本原理和流程,分类总结了 ALO 算法的相关改进策略及其变体算法,并阐述了 ALO 算法在不同领域的应用。ALO 算法具有简单易实现、收敛速度快、全局搜索能力强等特点,在研究、改进及应用等方面具有广阔的发展前景。ALO 算法的研究趋势如下:

- 1) 为进一步提高 ALO 算法的性能,需要对 ALO 算法的原理进行更深入地研究;
- 2) 进一步提高 MALO 算法解决多目标优化问题的性能,将是下一步的研究重点;
- 3) 针对大规模问题的 ALO 算法研究,是未来研究的热点;
- 4) 针对动态优化问题和动态多目标优化问题,如何利用 ALO 算法求解动态环境中随时间变化的最优解,目前还没有开展相关研究。

### 参考文献

- [1] BOUCHEKARA H R E H. Electrostatic discharge algorithm: A novel nature-inspired optimisation algorithm and its application to worst-case tolerance analysis of an EMC filter[J]. IET

- Science Measurement & Technology, 2019,13(4):491-499.
- [2] GOMES G F, DA CUNHA S S, ANCELOTTI A C. A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates[J]. *Engineering with Computers*, 2019, 35(2): 619-626.
- [3] KAVEH A, DADRAS A. A novel meta-heuristic optimization algorithm: Thermal exchange optimization[J]. *Advances in Engineering Software*, 2017, 110: 69-84.
- [4] DHIMAN G, KUMAR V. Emperor penguin optimizer: A bio-inspired algorithm for engineering problems[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018, 159: 20-50.
- [5] MIRJALILI S, GANDOMI A H, MIRJALILI S Z, et al. Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems[J]. *Advances in Engineering Software*, 2017, 114: 163-191.
- [6] XUE J, SHEN B. A novel swarm intelligence optimization approach: Sparrow search algorithm[J]. *Systems Science & Control Engineering*, 2020, 8(1): 22-34.
- [7] MIRJALILI S. The ant lion optimizer[J]. *Advances in Engineering Software*, 2015, 83: 80-98.
- [8] CHEN H, CHANG P, HU Z, et al. A spark-based ant lion algorithm for parameters optimization of random forest in credit classification[C]//Xu B. *Proceedings of 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC 2019)*. New York: IEEE, 2019: 992-996.
- [9] SAHA S M V. A novel quasi-oppositional chaotic antlion optimizer for global optimization[J]. *Applied Intelligence: The International Journal of Artificial Intelligence, Neural Networks, and Complex Problem-Solving Technologies*, 2018, 48 (9): 2628-2660.
- [10] YAO P, WANG H. Dynamic adaptive ant lion optimizer applied to route planning for unmanned aerial vehicle[J]. *Soft Computing*, 2017, 21(18): 5475-5488.
- [11] PENG X, CHEN C, ZHENG T, et al. Improved ant lion algorithm for orderly charging of electric vehicles[C]//2021 IEEE 12th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG). New York: IEEE, 2021: 1-7.
- [12] KILIC H, YUZGEC U, KARAKUZU C. A novel improved antlion optimizer algorithm and its comparative performance [J]. *Neural Computing & Applications*, 2020, 32(18): 3803-3824.
- [13] GUO M W, WANG J S, ZHU L F, et al. Improved ant lion optimizer based on spiral complex path searching patterns[J]. *IEEE Access*, 2020,8:22094-22126.
- [14] HUANG C, ZHAO K. Three dimensional path planning of UAV with improved ant lion optimizer[J].*电子与信息学报*, 2018,40(7):1532-1538.
- [15] YAO Y, LI Y, XIE D, et al. Coverage enhancement strategy for WSNs based on virtual force-directed ant lion optimization algorithm[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2021,21(17):19611-19622.
- [16] YE Z, ZHAN S, SUN S, et al. Neural network structure learning based on binary coded ant lion algorithm[C]// *Proceedings of the 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems-Technology and Applications (IDAACS)*, New York: IEEE, 2019,1: 552-555.
- [17] POONGAVANAME, KASINATHAN P, KANAGASABAI K. Taylor ant lion optimization-based generative adversarial networks for forecasting electricity consumption[J]. *Concurrency and Computation-Practice & Experience*, 2023,35(7): e7607.
- [18] MAFARJA M M, MIRJALILI S. Hybrid binary ant lion optimizer with rough set and approximate entropy reducts for feature selection[J]. *Soft Computing*, 2019, 23(15): 6249-6265.
- [19] LI Z, CHU S-C, PAN J-S, et al. A Mahalanobis surrogate-assisted ant lion optimization and its application in 3d coverage of wireless sensor networks[J]. *Entropy*, 2022,24(5):586.
- [20] EMARY E, ZAWBAA H M, HASSANIEN A E. Binary ant lion approaches for feature selection[J]. *Neurocomputing*, 2016,213:54-65.
- [21] CHEN W, YANG P, ZHAO W, et al. Improved ant lion optimizer for coverage optimization in wireless sensor networks[J]. *Wireless Communications & Mobile Computing*, 2022, 2022: 8808575.
- [22] SUBHASHINI K R, SATAPATHY J K. Development of an enhanced ant lion optimization algorithm and its application in antenna array synthesis[J]. *Applied Soft Computing*, 2017, 59: 153-173.
- [23] HANS R, KAUR H. Hybrid binary sine cosine algorithm and ant lion optimization (SCALO) approaches for feature selection problem[J]. *International Journal of Computational Materials Science and Engineering*, 2020, 09(1):26.
- [24] TAKEANG C, AURASOPON A. A new hybrid algorithm combining ant lion optimization and particle swarm optimization to solve an economic dispatch problem with non-smooth



- cost function[J]. *Przeglad Elektrotechniczny*, 2021,97(9):115-122.
- [25] SITA H, REDDY P U, KIRANMAYI R, et al. Hybridization of ALO and GOA for combined economic emission dispatch [J]. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2020,79(10): 894-897.
- [26] SANTHAKUMAR D, LOGESWARI S. Hybrid ant lion mutated ant colony optimizer technique for Leukemia prediction using microarray gene data[J]. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2021, 12(2): 2965-2973.
- [27] MAGESHKUMAR C, KARTHIK S, ARUNACHALAM V P. Hybrid metaheuristic algorithm for improving the efficiency of data clustering[J]. *Cluster Computing the Journal of Networks Software Tools and Applications*, 2019, 22(1s): 435-442.
- [28] PRADHAN H, MANGARAJ B B, BEHERA S K. Chebyshev-based array for beam steering and null positioning using modified ant lion optimization[J]. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 2021, 14(2):143-157.
- [29] STRUMBERGER I, RAKIC A, STEFAN STANOJLOVIC, et al. Feature selection by hybrid binary ant lion optimizer with COVID-19 dataset [C]//2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR). IEEE, 2021: 1-4.
- [30] LIU Y, WANG Z, XU Z, et al. Ant lion-based random walk differential evolution algorithm for optimization and clustering [C]//2019 11th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC). IEEE, 2019, 2: 62-66.
- [31] CHANDRASEKARAN G, KARTHIKEYAN P R, KUMAR N S, et al. Test scheduling of system-on-chip using dragonfly and ant lion optimization algorithms[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2021, 40(3): 4905-4917.
- [32] TIAN T, LIU C, GUO Q, et al. An improved ant lion optimization algorithm and its application in hydraulic turbine governing system parameter identification[J]. *Energies*, 2018, 11(1): 95.
- [33] ZHANG H, GAO Z, ZHANG J, et al. Hybridizing extended ant lion optimizer with sine cosine algorithm approach for abrupt motion tracking[J]. *Eurasip Journal on Image and Video Processing*, 2020, 2020(9):2153-2164.
- [34] MIRJALILI S, JANGIR P, SAREMI S. Multi-objective ant lion optimizer: A multi-objective optimization algorithm for solving engineering problems[J]. *Applied Intelligence*, 2017, 46(1):79-95.
- [35] WANG Y, SHI Q. Spare parts closed-loop logistics network optimization problems: Model formulation and meta-heuristics solution[J]. *IEEE Access*, 2019,7:45048-45060.
- [36] RANI R, GARG R. Pareto based ant lion optimizer for energy efficient scheduling in cloud environment[J]. *Applied Soft Computing Journal*, 2021,113:107943.
- [37] LIU Y, QIN W, ZHANG J, et al. Multi-objective ant lion optimizer based on time weight: Regular section[J]. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 2021, E104D(6): 901-904.
- [38] COELHO L DOS S, MAIDL G, PIEREZAN J, et al. Ant lion approach based on lozi map for multiobjective transformer design optimization[C]//2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEDAM). New York: IEEE, 2018: 280-285.
- [39] YILDIZ B S, YILDIZ A R. Comparison of grey wolf, whale, water cycle, ant lion and sine-cosine algorithms for the optimization of a vehicle engine connecting rod[J]. *Materials Testing*, 2018, 60(3): 311-315.
- [40] YILDIZ A R, ABDERAZEK H, MIRJALILI S. A comparative study of recent non-traditional methods for mechanical design optimization[J]. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2020,27(4):1031-1048.
- [41] MISHRA M, BARMAN S K, MAITY D, et al. Ant lion optimisation algorithm for structural damage detection using vibration data[J]. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 2019, 9(1): 117-136.
- [42] DONG D, YE Z, CAO Y, et al. An improved association rule mining algorithm based on ant lion optimizer algorithm and FP-growth[C]//Proceedings of the 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems - Technology and Applications (IDAACS), New York: IEEE, 2019,1: 458-463.
- [43] YUAN X, CHEN C, LEI X, et al. Monthly runoff forecasting based on LSTM-ALO model[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2018, 32(8): 2199-2212.
- [44] SINGH D, SINGH B. Investigating the impact of data normalization on classification performance[J]. *Applied Soft Computing*, 2020, 97: 105524.
- [45] LIU Y, CUI D. Estimation algorithm for vehicle state estimation using ant lion optimization algorithm[J]. *Advances in Mechanical Engineering*, 2022, 14(3): 16878132221085840.
- [46] JIANG F, HE J, PENG Z. Short-term wind power forecasting

- based on bp neural network with improved ant lion optimizer [C]//CHEN X, ZHAO Q C. 2018 37th Chinese Control Conference (CCC). New York: IEEE, 2018: 8543-8547.
- [47] HASSIM Y M M, GHAZALI R. Training functional link neural network with ant lion optimizer[C]//Recent Advances on Soft Computing and Data Mining (SCDM 2020): 978. Cham: Springer International Publishing Ag, 2020: 130-139.
- [48] LI Q, LI D, ZHAO K, et al. State of health estimation of lithium-ion battery based on improved ant lion optimization and support vector regression[J]. *Journal of Energy Storage*, 2022, 50: 104215.
- [49] FARRAG A A S, MAHMOUD S A, EL-HORBATY E S M. Intelligent cloud algorithms for load balancing problems: a survey[C]//2015 IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS). New York: IEEE, 2015: 210-216.
- [50] YOGARAJAN G, REVATHI T. Improved cluster based data gathering using ant lion optimization in wireless sensor networks[J]. *Wireless Personal Communications*, 2018, 98(3): 2711-2731.
- [51] WEI W, CHENG W, YE L, et al. A study of test suite reduction based on ant lion optimizer[J]. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 2022, 29(1): 246-251.
- [52] DUBEY H M, PANDIT M, PANIGRAHI B K. Ant lion optimization for short-term wind integrated hydrothermal power generation scheduling[J]. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2016, 83: 158-174.
- [53] ENGEL E A, KOVALEV I V. MPPT of a partially shaded photovoltaic module by ant lion optimizer[C]//Advances in Swarm Intelligence, ICSI 2016, PT I: 9712. Cham: Springer Int Publishing Ag, 2016: 451-457.
- [54] ALI E S, ABD ELAZIM S M, ABDELAZIZ A Y. Ant lion optimization algorithm for optimal location and sizing of renewable distributed generations[J]. *Renewable Energy*, 2017, 101:1311-1324.
- [55] ALI E S, ABD ELAZIM S M, ABDELAZIZ A Y. Ant lion optimization algorithm for renewable distributed generations [J]. *Energy*, 2016,116: 445-458.
- [56] LI Y, FENG B, LI G, et al. Optimal distributed generation planning in active distribution networks considering integration of energy storage[J]. *Applied Energy*, 2018,210:1073-1081.
- [57] WANG J, DU P, LU H, et al. An improved grey model optimized by multi-objective ant lion optimization algorithm for annual electricity consumption forecasting[J]. *Applied Soft Computing Journal*, 2018, 72: 321-337.
- [58] TRIVEDI I N, PARMAR S A, BHESDADIYA R H, et al. Voltage stability enhancement and voltage deviation minimization using ant-lion optimizer algorithm[C] //2016 2nd International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-informatics (AEEICB). IEEE, 2016: 263-267.
- [59] UMAMAHESWARI E, GANESAN S, ABIRAMI M, et al. Stochastic model based reliability centered preventive generator maintenance planning using ant lion optimizer[C] //2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT). IEEE, 2017:1-8.
- [60] UMAMAHESWARI E, GANESAN S, ABIRAMI M, et al. Deterministic reliability model based preventive generator maintenance scheduling using ant lion optimizer[C]//2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT). IEEE, 2016: 1-8.
- [61] KAMBOJ V K, BHADORIA A, BATH S K. Solution of non-convex economic load dispatch problem for small-scale power systems using ant lion optimizer[J]. *Neural Computing & Applications*, 2017, 28(8): 2181-2192.
- [62] MOKEDDEM D, DRAIDI H. Optimization of PID sliding surface using ant lion optimizer[C]// Modelling and Implementation of Complex Systems: 64. Cham: Springer International Publishing Ag, 2019:133-145.
- [63] PRADHAN R, MAJHI S K, PRADHAN J K, et al. Optimal fractional order PID controller design using ant lion optimizer [J]. *Ain Shams Engineering Journal*, 2020, 11(2): 281-291.
- [64] SPOLJARIC T, LUSETIC C, SIMOVIC V. Optimization of PID controller in AVR system by using ant lion optimizer algorithm[C]// 2018 41ST International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). New York: IEEE, 2018:1522-1526.
- [65] MARHOON H M, IBRAHIM A R, BASIL N. Enhancement of electro hydraulic position servo control system utilising ant lion optimiser[J]. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 2021, 12(2): 2453-2461.
- [66] KOUBA N E Y, MENAA M, TEHRANI K, et al. Optimal tuning for load frequency control using ant lion algorithm in multi-area interconnected power system[J]. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 2019, 25(2): 279-294.

(下转第 15 页)