

本文引用格式: 池建华,蔡延光,李俊奕,等.蜻蜓算法研究综述[J].自动化与信息工程,2022,43(3):7-14.

CHI Jianhua, CAI Yanguang, LI Junyi, et al. A survey of dragonfly algorithm[J]. Automation & Information Engineering, 2022,43(3):7-14.

蜻蜓算法研究综述*

池建华¹ 蔡延光¹ 李俊奕² 李立欣¹ 陈子恒¹ 苏锦明¹

(1.广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510006

2.广东省计算技术应用研究所, 广东 广州 510006)

摘要: 蜻蜓算法(DA)是一种通过模拟自然界中蜻蜓种群觅食和迁徙行为而设计的求解全局优化问题的新型元启发算法,具有实现简单、调优参数少、收敛时间短等特点,广泛应用于各领域优化不同问题。首先,介绍DA的基本概念;然后,根据DA易过早收敛的缺点,分别从增加改进策略和混合其他搜索算法的角度给出解决方法;最后,阐述DA的研究趋势。

关键词: 蜻蜓算法;改进策略;混合其他搜索算法;研究趋势

中图分类号: TP18;TP311.13

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2022)03-0002-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2022.03.002

A Survey of Dragonfly Algorithm

CHI Jianhua¹ CAI Yanguang¹ LI Junyi² LI Lixin¹ CHEN Ziheng¹ SU Jinming¹

(1. School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

2. Guangdong Institute of Computing Technology Application, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Dragonfly algorithm (DA) is a new meta heuristic algorithm designed to solve global optimization problems by simulating the foraging and migration behavior of dragonfly population in nature. It has the characteristics of simple implementation, few optimization parameters and short convergence time. It is widely used in various fields to optimize different problems. Firstly, the basic concept of DA is introduced; Then, according to the shortcoming that DA is easy to converge too early, the solutions are given from the perspective of adding improved strategies and mixing other search algorithms; Finally, the research trend of DA is described.

Keywords: dragonfly algorithm; improvement strategy; mix other search algorithms; research trends

0 引言

近年来,研究人员对智能算法的探索不断深入,他们通过对自然界群体生物的习性、行为以及自然现象进行分析,提出不同的自然启发式算法。如通过对自然界种群研究提出的粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法^[1]、共生生物搜索(symbiotic organisms search, SOS)算法^[2]、驴和走私者优化(donkey and smuggler optimization, DSO)算法^[3]、

基于学习者表现的行为(learner performance based behavior, LPB)算法^[4]等;通过对自然现象研究提出的水蒸气优化(water evaporation optimization, WEO)算法^[5]、光学启发优化(optics inspired optimization, OIO)算法^[6]、引力搜索算法(gravitational search algorithm, GSA)^[7]等。对于复杂的现实世界问题,这些算法在成本、鲁棒性和效率方面都表现出良好效果。

* 基金项目: 广东省科技计划项目(2016A050502060); 广州市科技计划项目(202206010011)。

蜻蜓算法 (dragonfly algorithm, DA) 是 MIRJALILI 等^[8]于 2016 年提出的一种新型元启发算法。DA 一经提出就受到各领域研究人员的关注, 并将其应用于智能调度、车辆路径问题、电力系统优化、图像处理、云计算等领域。本文归纳了 DA、DA 变体、DA 混合其他搜索算法, 着重分析 DA 目前的研究进度, 从而预测其研究趋势。

1 DA

MIRJALILI 等^[8]发现蜻蜓集群行为是为了觅食和迁移, DA 模拟这 2 种集群行为, 即静态集群和动态集群。在静态集群行为下, 蜻蜓在短距离内来回移动以捕食猎物; 在动态集群行为下, 蜻蜓长距离单方向迁移到其他区域。在元启发优化背景下, DA 的这 2 种行为分别代表探测阶段和开发阶段。较小群体飞行到不同区域的静态集群称为探测阶段; 较大种群单方向飞行的动态集群称为开发阶段。DA 的基本元素包括分离、排列、凝聚、对食物的吸引力、向外发散敌人注意力 5 种行为, 将这 5 种行为表示为数学模型, 是 DA 的核心。

1) 分离行为, 避免种群之间的个体碰撞, 数学模型为

$$S_i = -\sum_{j=1}^N X - X_j \quad (1)$$

式中:

X ——当前个体位置;

X_j ——第 j 个相邻个体位置;

N ——种群相邻个体数量。

2) 排列行为, 协调种群中个体之间的速度, 数学模型为

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N V_j}{N} \quad (2)$$

式中:

V_j ——种群中第 j 个相邻个体的速度。

3) 凝聚行为是指个体对种群中心的吸引力, 数学模型为

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} - X \quad (3)$$

4) 对食物的吸引力是指集中食物来源, 数学模型为

$$F_i = X^+ - X \quad (4)$$

式中:

X^+ ——食物当前位置。

5) 向外发散敌人注意力是指避开敌人, 数学模型为

$$E_i = X^- - X \quad (5)$$

式中:

X^- ——敌人位置。

DA 是基于粒子群算法开发的, 利用步长向量和位置向量模拟单个蜻蜓运动。其中, 步长向量和粒子群算法的速度向量类似; 位置向量表示蜻蜓运动的位置。步长向量的数学模型为

$$\Delta X_{t+1} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + \omega\Delta X_t \quad (6)$$

式中:

s ——分离权重;

S_i ——第 i 个个体分离;

a ——对齐权重;

A_i ——第 i 个个体对齐;

c ——内聚权重;

C_i ——第 i 个个体内聚;

f ——食物因子;

F_i ——第 i 个个体食物来源;

e ——敌人因子;

E_i ——第 i 个个体敌人位置;

ω ——惯性权重;

t ——当前迭代次数。

位置向量的数学模型为

$$\mathbf{X}_{t+1} = \mathbf{X}_t + \Delta \mathbf{X}_{t+1} \quad (7)$$

由于 DA 可能过早收敛, 导致局部最优, 因此需要提高种群的搜索随机性和搜索能力。在不存在临近解的情况下, 要求每个蜻蜓绕搜索空间执行 Levy 飞行更新蜻蜓位置:

$$\mathbf{X}_{t+1} = \mathbf{X}_t + Levy(d) \times \mathbf{X}_t \quad (8)$$

式中:

d ——位置向量维数。

Levy 飞行的数学模型为

$$Levy(x) = 0.01 \times \frac{r_1 \times \sigma}{|r_2|^{1/\beta}} \quad (9)$$

式中:

r_1 、 r_2 ——[0,1]中的 2 个随机数;

β ——常数;

σ ——计算公式为

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{(\beta-1)/2}} \right)^{1/\beta} \quad (10)$$

式中:

$$\Gamma(x) = (x-1)!$$

DA 的流程图如图 1 所示。

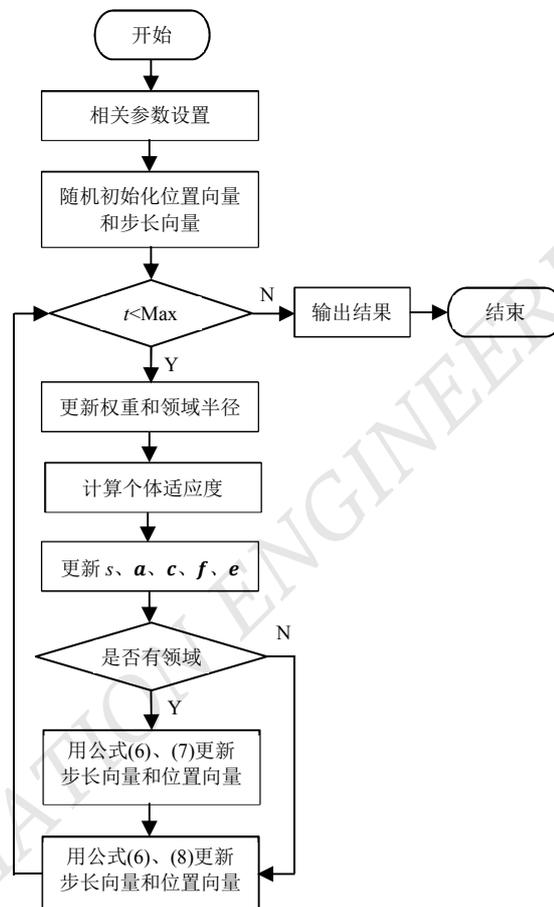


图 1 蜻蜓算法流程图

2 混合 DA

随着 DA 研究的深入, 其模型条件越来越复杂, 约束条件也越来越多, 出现了过早收敛陷入局部最优解, Levy 飞行机制导致搜索区域溢出和随机飞行中断等问题。为此, 迫切需要改进 DA。经研究发现, 通过混合进化策略及其他搜索算法可改进 DA, 如图 2 所示。

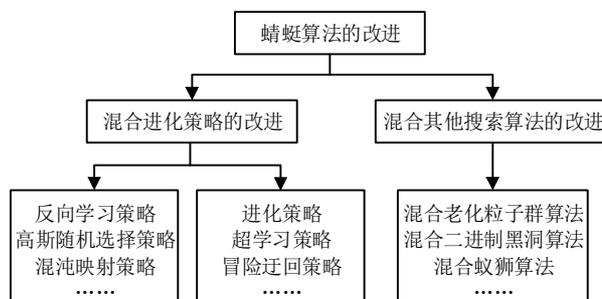


图 2 DA 改进

2.1 混合进化策略

1) 引入学习策略

PENG 等^[9]在确定彩色图像不同阈值的最佳组合时, 采用改进的 DA, 并引入混沌映射和精英反向学习策略改善初始化种群的随机性。BAO 等^[10]将精英反向学习策略引入 DA 进行图像分割; 实验结果表明, 与其他启发式算法相比, 该算法具有较高的准确性和稳定性。LATCHOUMI 等^[11]针对每个虚拟机都有平衡负载时, 如何最大限度地提高容量利用率问题, 提出将反向学习策略融入 DA, 以提高算法收敛速度并获得最佳资源调配。TOO 等^[12]为给定的分类问题寻找最优特征子集时, 利用超学习策略帮助二进制 DA 摆脱局部最优并改善搜索行为; 该算法应用于新冠病毒数据集, 可提高分类精度和减少所选特征数量。陶文瀚等^[13]将随机学习优化的思想融入 DA, 改善 DA 容易出现过早收敛、陷入局部最优解等问题; 经实验证明, 该算法在解决带有软时间窗的车辆路径问题时具有较好效果。

2) 引入混沌映射策略

BAICHE 等^[14]将随机高斯策略和混沌映射策略引入二进制 DA, 采用高斯分布随机选择方法更新步长向量的惯性权重 ω ; 采用混沌映射更新参数 s 、 a 、 c 、 f 和 e , 避免过早收敛产生局部最优解, 影响解的多样性; 利用离散数学与理论计算机科学中心基准图着色实例验证了该方法的性能。ZHANG 等^[15]针对 U 型混流机器人装配线的平衡问题和排序问题, 提出一种混合的多目标 DA; 利用混沌映射提高算法的随机性, 采用多点交叉机制对解的更新方法进行改进; 通过与多个模型基准进行比较, 分析决策变量的敏感性; 实验结果表明, 该方法对决策变量控制相比其他算法更有效。

3) 引入高斯变异

YU 等^[16]引入量子旋转门思想和高斯变异策略与 DA 相结合; 实验结果表明, 引入这 2 种策略可以改善算法的开发和探索能力, 且提高了收敛速度。RAJESH 等^[17]将量子行为和高斯变异策略引入 DA, 并用来自优化充电站和电容器分布; 实验结果表明, 该

算法可控制电压不超过允许值的 2%。

4) 引入冒险迂回策略

TIAN 等^[18]将冒险迂回策略融入多目标的 DA, 解决了连续退火过程中存在的干扰因素众多、系统波动大、生产效率低等问题; 实验结果证明, 该方法处理连续退火过程的优化问题更可靠。

5) 引入布朗运动

DEEPIKA 等^[19]将多层感知器和增强布朗运动集成融入到 DA, 用于心脏病的特征选择和分类; 实验结果表明, 该方法在预测心脏病方面效果较好。

6) 二进制 DA 引入策略

MAFARJA 等^[20]将时变的 S 型和 V 型传递函数引入二进制 DA, 以平衡步长向量对算法探测和开发的影响; 实验结果表明, 引入时变 S 型传递函数的二进制 DA 性能更优于 DA。CHATRA 等^[21]将神经网络引入二进制 DA, 用于纹理图像分类; 实验结果表明, 与支持向量机比较, 该算法对图像分类更精准。

2.2 混合其他搜索算法

1) DA 混合支持向量机算法

IBRIR 等^[22]将支持向量机算法与 DA 结合, 检测空气中的 PM 值浓度, 并利用 DA 泛化支持向量算法的核参数, 提高了模型的鲁棒性。YAGHOBZADEH 等^[23]混合 DA 与支持向量机算法, 通过 DA 优化数据分类, 给出支持向量机算法的最优参数, 提高肾脏疾病诊断的准确性。SAHU 等^[24]将支持向量机模型和混沌 DA 结合, 用于评估各种微阵列癌症数据集的参数优化和生物标记基因识别; 实验结果表明, CDA-SVM 具有在高位数据集识别特征生物标志基因的能力。MORE 等^[25]将乌鸦搜索算法与 DA 结合, 并支持向量回归提出一种新的虚拟机迁移模型; 该模型比其他模型负载、能量消耗和迁移成本更小。

2) DA 混合其他算法

SHILAJA 等^[26]将 DA 与老化粒子群结合, 用于解决最优潮流问题, 以获得电力系统控制的最佳变量。JADHAV 等^[27]将鲸鱼优化算法与 DA 相结合, 将类图转换为关系模型, 通过测试驱动开发 (test driven development, TDD) 案例, 得到自动准确性值和自适

应值;与其他算法相比精确度更佳。DUAN 等^[28]将差分进化融合到 DA, 解决全局优化的问题;实验结果表明,该算法对高维问题的适应性较好。GONAL 等^[29]利用混合蝙蝠算法和 DA 调整风能-太阳能系统控制器的参数,为系统提供最佳功率流。HAN 等^[30]将模拟退火算法与 DA 结合,提高了 DA 跳出局部最优解的能力,解决了有缓冲区的柔性流水线车间调度问题。SINGH 等^[31]将萤火虫算法与 DA 结合,获得理想的全局解,解决无线传感器网络领域的定位问题;与现有方案相比,该算法在定位误差方面表现出色。RAO 等^[32]将电鱼优化算法与 DA 结合,提高 5G 无线电系统的大规模多输入多输出系统效率;实验结果表明,相比其他算法,该算法提升了 5G 的输入输出效率。LAKSHMI 等^[33]提出一种将遗传算法混合 DA 的优化技术,用于寻找分布式发电单元的最佳位置和大小;实验结果证明,该算法可优化运营网络。

3) 二进制 DA 混合其他算法

PASHAEI 等^[34]将二进制黑洞算法与二进制 DA 结合,利用最小冗余关联滤波方法降低特征空间维数;实验结果表明,该算法可用于寻找具有高分类准确度的鉴别基因新组合。

4) 改进 DA 混合其他算法

BHANDAKKAR 等^[35]建立基于改进 DA 和蚁狮优化的混合潮流控制器;与传统的潮流控制器相比,该算法搜索能力增强、种群数量减少、复杂度降低。

3 蜻蜓算法的应用和趋势

1) 调度问题

SURESH 等^[36]利用 DA 求解太阳能静态资源的调度问题,采用 beta 分布函数建模,模拟太阳辐射度的随机性。SURESH 等^[37]还提出利用改进 DA 解决不同复杂度的可再生能源和柔性交流输出电系统的需求响应和动态经济调度问题;实验结果表明,该算法可降低功耗、运行成本和热能消耗。LI 等^[38]以年发电总量最大化、调度周期月联合出力最小化、生态超短排放最小化为目标,建立了风-光-水-电优化调度模型,采用基于参考点的多目标 DA,获得优化的统一

调度方案。PATHANIA 等^[39]采用 DA 解决具有阀点效应的经济负荷调度问题;通过测试并与其他算法比较,验证了其可行性。BHESDADIYA 等^[40]将 DA 基于种群行为的概念应用于解决排放约束经济调度问题;实验结果表明,DA 在不同惩罚因子下解决了排放约束经济调度问题。

2) 车辆路径问题

周非无^[41]将 DA 应用于单机器人路径规划和多机器人协调路径规划中,并把路径规划问题转换成各个维度寻找最优解问题。HAMMOURI 等^[42]利用 DA 解决旅行商问题(traveling salesman problem, TSP)。LIU 等^[43]利用 DA 解决配送中心优化和客户服务目标的带时间窗约束的车辆路径问题。

3) 电力系统优化

PALAPPAN 等^[44]利用 DA 解决电力系统网络的最佳无功功率调度问题;增加了前因随机种群大小,聚焦于接近全局最优结果。MISHRA 等^[45]利用 DA 优化控制加压重水慢化反应堆的 PID 参数,以控制高度非线性的反应堆功率;实验结果表明,该算法具有较好的鲁棒性。SIMHADRI 等^[46]针对两区域水电互联电力系统,提出一种二维 PID 控制器并利用 DA 优化控制器增益;实验结果表明,对比其他优化算法,该算法优化的 PID 参数效果更佳。DAS 等^[47]利用 DA 获得火力发电站、可再生风力、太阳能光伏电站组合的最小成本最优解;与其他优化算法相比,DA 在执行时间和成本效益方面更具优势。

4) 图像处理

MARGARITA 等^[48]利用 DA 的新型优化技术分割图像的最佳阈值;与其他算法相比,该方法分割的图像阈值更加准确。SHAIK 等^[49]提出一种基于 DA 优化器的鲁棒盲数字水印方法,保证数字内容可使用嵌入数据中的版权等信息进行合法保护;实验结果表明,该方法能够保证系统对高斯噪音、对比度增强、均值滤波和中值滤波等攻击的鲁棒性。

5) 云计算

AMINI 等^[50]利用蜻蜓优化算法在任务调度上的

快速性和准确性,完成云计算虚拟机的资源分配;实验结果表明,在考虑执行时间、响应时间、迁移任务数量和负载均衡标准时,该改进算法的效率高于其他算法。

4 结论与展望

本文对近年来的 DA 相关论文进行整理分析,分类总结了 DA 改进以及 DA 混合其他搜索算法,并且阐述了 DA 在不同领域的应用。DA 具有结构简单、全局搜索性好、调优参数少、收敛时间短等特点,能够有效解决多种优化问题,具有较好的发展前景。

DA 的研究趋势有:

1) 虽然目前已对 DA 做了许多改进,但其性能还存在提高潜力。今后可以在初始化种群、位置向量和步长向量的更新、种群迭代、引入其他智能算法、新的自适应机制、精英反向学习机制、局部搜索机制以及机器学习算法等方面进行改进。

2) DA 还表现出对多目标以及多目标优化问题求解的趋势。通过上述应用可看出 DA 对 TSP 的求解初现成效,可将 DA 引入流水线车间调度、车辆路径问题、生产调度问题等实际工程问题的研究。

3) 针对大规模优化问题,研究基于 DA 的求解方法。

参考文献

- [1] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization [J]. Proceedings of IEEE Conference on Neural Networks, Perth, 1995, 4: 1942-1948.
- [2] CHENG M Y, PRAYOGO D. Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm[J]. Computers & Structures, 2014, 139:98-112.
- [3] SHAMSALDIN A S, RASHID T A, AL-RASHID A, et al. Donkey and smuggler optimization algorithm: a collaborative working approach to path finding[J]. Journal of Computational Design and Engineering, 2019,6(4):562-583.
- [4] RAHMAN C M, RASHID T A. A new evolutionary algorithm: Learner performance based behavior algorithm[J]. Egyptian Informatics Journal, 2021,22(2):213-223.
- [5] KAVEH A, BAKHSHPOORI T. Water evaporation optimization: a novel physically inspired optimization algorithm[J]. Computers and Structures, 2016,167(Apr.):69-85.
- [6] KASHAN H, ALI. A new metaheuristic for optimization: Optics inspired optimization (OIO)[J]. Computers & Operations Research, 2015,55:99-125.
- [7] SIDDIQUE, NAZMUL, ADELI, et al. Gravitational search algorithm and its variants[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2016,30(8):1639001- 1-1639001-22.
- [8] MIRJALILI S. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems[J]. Neural Computing and Applications, 2016, 27(4):1053-1073.
- [9] PENG X, JIA H, LANG C. Modified dragonfly algorithm based multilevel thresholding method for color images segmentation [J]. Mathematical Biosciences and Engineering, 2019,16(6): 6467-6511.
- [10] BAO X, JIA H, LANG C. Dragonfly algorithm with opposition-based learning for multilevel thresholding color image segmentation[J]. Symmetry, 2019, 11(5):716.
- [11] LATCHOUMI T P, PARTHIBAN L. Quasi oppositional dragonfly algorithm for load balancing in cloud computing environment[J]. Wireless Personal Communications, 2022, 122(3):2639-2656.
- [12] TOO J, MIRJALILI S. A hyper learning binary dragonfly algorithm for feature selection: a COVID-19 case study[J]. Knowledge-Based Systems, 2021, 212:106553.
- [13] 陶文瀚,赵晨聪,孙翌博,等.基于改进型蜻蜓算法的车辆路径问题研究[J].计算机技术与发展,2020,30(12):170-175.
- [14] BAICHE K, MERAIHI Y, HINA M D, et al. Solving graph coloring problem using an enhanced binary dragonfly algorithm[J]. International Journal of Swarm Intelligence Research, 2019, 10(3):23-45.
- [15] ZHANG B, XU L, ZHANG J. Balancing and sequencing problem of mixed-model U-shaped robotic assembly line: Mathematical model and dragonfly algorithm based approach [J]. Applied Soft Computing Journal, 2020,98(1-4):106739.
- [16] YU C, CAI Z N, WANG M, et al. Quantum-like mutation-induced dragonfly-inspired optimization approach[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2020,178:259-289.
- [17] RAJESH P, SHAJIN F H. Optimal allocation of EV charging spots and capacitors in distribution network improving voltage and power loss by quantum-behaved and gaussian mutational

- dragonfly algorithm (QGDA)[J]. *Electric Power Systems Research*, 2021,194(1):107049.
- [18] TIAN Huixin, YUAN Chang, LI Kun. Robust optimization of the continuous annealing process based on a novel multi-objective dragonfly algorithm[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2021,106:10448.
- [19] DEEPIKA D, BALAJI N. Effective heart disease prediction using novel MLP-EBMDA approach[J]. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2022,72:103318.
- [20] MAFARJA M, ALJARAHI I, HEIDARI A A, et al. Binary dragonfly optimization for feature selection using time-varying transfer functions[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018,161(DEC.1):185-204.
- [21] CHATRA K, KUPPILI V, EDLA D R. Texture image classification using deep neural network and binary dragon fly optimization with a novel fitness function[J]. *Wireless Personal Communications*, 2019, 108(3):1513–1528.
- [22] IBRIR A, KERCHICH Y, HADIDI N, et al. Prediction of the concentrations of PM1, PM2.5, PM4, and PM10 by using the hybrid dragonfly-SVM algorithm[J]. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2021,14(3):313-323.
- [23] YAGHOBZADEH R, KAMEL S R, ASGARI M. Enhancing the precision and accuracy of renal failure diagnosis using the modified support vector machine algorithm and dragonfly algorithm[J]. *Soft Computing*, 2021,25(16):10647-10659.
- [24] SAHU B, PANIGRAHI A, PANIGRAHI S, et al. CDA-SVM: a chaotic dragonfly enriched support vector machine for micro array data sets[J]. *2021 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)*, 2021:228-233.
- [25] MORE N S, INGLE R B. Energy-aware VM migration using dragonfly–crow optimization and support vector regression model in Cloud[J]. *International Journal of Modeling, Simulation and Scientific Computing*, 2018,9(6):1850050.1-1850050.24.
- [26] SHILAJA C, RAVI K. Optimal power flow using hybrid DA-APSO algorithm in renewable energy resources[J]. *Energy Procedia*, 2017,117:1085-1092.
- [27] JADHAV P P, JOSHI S D. WOADF: whale optimization integrated adaptive dragonfly algorithm enabled with the TDD properties for model transformation[J]. *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, 2019, 18(2003): 1950026.
- [28] DUAN M, YANG H, YANG B, et al. Hybridizing dragonfly algorithm with differential evolution for global optimization [J]. *IEICE Transactions on Information and System*, 2019, E102D(10):1891-1901.
- [29] GONAL V, SHESHADRI G S. A hybrid bat-dragonfly algorithm for optimizing power flow control in a grid-connected wind-solar system[J]. *Wind Engineering*, 2021,45 (0309524X198824292):231-244.
- [30] HAN Z, ZHANG J, LIN S, et al. Research on the improved dragonfly algorithm-based flexible flow-shop scheduling[J]. *Proceedings of The 11th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC2019)*, 2020, 582:205-214.
- [31] SINGH P, MITTAL N. Efficient localisation approach for WSNs using hybrid DA-FA algorithm[J]. *IET Communications*, 2020,14(12):1975-1991.
- [32] RAO Y S, MADHU R. Hybrid dragonfly with electric fish optimization-based multi user massive MIMO system: optimization model for computation and communication power[J]. *Wireless Personal Communications*, 2021,120(4): 2519-2543.
- [33] LAKSHMI G, JAYALAXMI A, VEERAMSETTY V. Optimal placement of distribution generation in radial distribution system using hybrid genetic dragonfly algorithm [J]. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 2021, 6(1):1-13.
- [34] PASHAEI Elnaz, PASHAEI Elham. Gene selection using hybrid dragonfly black hole algorithm: a case study on RNA-seq COVID-19 data[J]. *Analytical Biochemistry*, 2021,627: 114242.
- [35] BHANDAKKAR A A, MATHEW L. A novel MDA2LO technique for load flow analysis with hybrid power flow controller[J]. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*,2021(17),<https://doi.org/10.1007/s12652-021-03362-y>.
- [36] SURES V, SREEJITH S. Generation dispatch of combined solar thermal systems using dragonfly algorithm[J]. *Computing*, 2017,99(1):59-80.
- [37] SURESH V, SREEJITH S, SUDABATTULA S K, et al. Demand response-integrated economic dispatch incorporating renewable energy sources using ameliorated dragonfly algorithm[J]. *Electrical Engineering*, 2019,101(2):421-442.
- [38] LI J, LU J, YAO L, et al. Wind-solar-hydro power optimal scheduling model based on multi-objective dragonfly algorithm[J]. *Energy Procedia*, 2019,158:6217-6224.

- [39] PATHANIA A K, MEHTA S, RZA C. Economic load dispatch of wind thermal integrated system using dragonfly algorithm [C]. 2016 7th India International Conference on Power Electro-nics (IICPE), 2016.
- [40] BHESDADIYA R H, JANGIR N, PANDYA M H, et al. Price penalty factors based approach for combined economic emission dispatch problem solution using dragonfly algorithm [J]. 2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 2016:436-441.
- [41] 周非无. 基于改进蜻蜓算法的移动机器人运动规划研究[D]. 湘潭:湖南科技大学, 2019.
- [42] HAMMOURI A I, SAMRA E T A, AL-BETAR M A, et al. A dragonfly algorithm for solving traveling salesman problem[C]. 2018 8th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE 2018), 2018:136-141.
- [43] LIU C, SUN Z, TAO W, et al. Research on vehicle routing problem with time windows based on the dragonfly algorithm[C]. In: Proceedings of the 2019 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCCom/ CyberSciTech). IEEE, 2019:142-148.
- [44] PALAPPAN A, THANGAVELU J. A new meta heuristic dragonfly optimization algorithm for optimal reactive power dispatch problem[J]. Gazi University Journal of Science, 2018, 31(4):1107-1121.
- [45] MISHRA S, MOHANTY B K. Step-back control of pressurized heavy water reactor by infopid using DA optimization[J]. Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering, 2019,2(697):497-507.
- [46] SIMHADRI K, MOHANTY B, RAO U M. Optimized 2DOF PID for AGC of multi-area power system using dragonfly algorithm[J]. Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering, 2019,698:11-22.
- [47] DAS D, BHATTACHARYA A, RAY R N. Dragonfly algorithm for solving probabilistic economic load dispatch problems [J]. Neural Computing and Applications, 2019,32(8):1-7.
- [48] MARGARITA-ARIMATEA Díaz-Cortés, NOÉ Ortega-Sánchez, HINOJOSA S, et al. A multi-level thresholding method for breast thermograms analysis using dragonfly algorithm[J]. Infrared Physics & Technology, 2018,93(2018): 346-361.
- [49] SHAIK A, MASILAMANI V. A novel digital watermarking scheme using dragonfly optimizer in transform domain[J]. Computers and Electrical Engineering, 2021,90:106923.
- [50] AMINI Z, MAEEN M, JAHANGIR M R. Providing a load balancing method based on dragonfly optimization algorithm for resource allocation in cloud computing[J]. International Journal of Networked and Distributed Computing, 2018,6(1): 35-42.

作者简介:

池建华, 男, 1997 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 控制与优化。E-mail: cjh7156@163.com

蔡延光, 男, 1963 年生, 博士, 教授, 主要研究方向: 网络控制与优化、组合优化、智能交通系统。E-mail: caiyg99@163.com

李俊奕, 男, 1986 年生, 学士, 工程师, 主要研究方向: 大数据、科技管理、信息化项目管理。E-mail: lijy@gdcc.com.cn

李立欣, 男, 1996 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 物流控制与优化。E-mail: 929351274@qq.com

陈子恒, 男, 1998 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 物流控制与优化。E-mail: c.z.h.good@163.com

苏锦明, 男, 1997 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 控制与优化。E-mail: cointreau_su@163.com



(上接第 6 页)

作者简介:

陈晔, 男, 1994 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 机器人焊接等。

姚屏 (通信作者), 女, 1978 年生, 博士, 教授, 主要研究方向: 工业机器人及智能控制等。E-mail: ypsunny@163.com