

文章编号: 2095-2163(2021)11-0092-05

中图分类号: TP183

文献标志码: A

# 蝠鲞觅食优化算法在配电网故障定位中的应用

徐立立<sup>1</sup>, 杨超<sup>1</sup>, 伍虹<sup>1</sup>, 杜刃刃<sup>2</sup>

(1 贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025; 2 贵州电网有限责任公司 贵安供电局, 贵州 550025)

**摘要:** 针对传统智能优化算法在配电网故障定位应用中存在定位速度较慢和定位精度不高的问题, 本文提出了一种新型群体智能算法——即蝠鲞觅食优化算法。文中介绍了蝠鲞的3种觅食行为, 并利用 Sigmoid 函数对个体位置进行二进制处理; 构建了单辐射配电网定位模型, 并利用该算法对定位模型进行迭代寻优。算例仿真结果表明, 该算法在配电网发生单重故障和多重故障的情况下, 能够准确地定位出故障区段, 具有良好的容错性, 收敛速度明显优于遗传算法和二进制粒子群算法。

**关键词:** 故障定位; 蝠鲞觅食优化; 二进制; 定位模型

## Application of manta ray foraging optimization algorithm in fault location of distribution network

XU Lili<sup>1</sup>, YANG Chao<sup>1</sup>, WU Hong<sup>1</sup>, DU Renren<sup>2</sup>

(1 The Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2 Gui'an Power Supply Bureau of Guizhou Power Grid Co., Gui'an, Guizhou 550025, China)

**【Abstract】** Aiming at the problems of slow speed and low accuracy of traditional intelligent optimization algorithm in distribution network fault location, a new swarm intelligence algorithm, namely manta ray foraging optimization algorithm, is proposed in this paper. In this paper, three foraging behaviors of manta rays are introduced. Sigmoid function is used for binary processing of individual positions. The location model of single radiation distribution network is constructed and the algorithm is used to optimize the location model iteratively. The simulation results show that the proposed algorithm can locate the fault segment accurately when single or multiple faults occur in distribution network, and has good fault tolerance. The convergence speed is obviously better than genetic algorithm and binary particle swarm optimization algorithm.

**【Key words】** fault location; manta ray foraging optimization; binary; positioning model

## 0 引言

随着中国电网结构日趋合理, 国家大力投资电网建设, 供电安全水平有效提升, 电网规模也快速增长。近年来, 配电网的发展水平越来越成熟, 未来, 更智能、更可靠、更清洁的配电网不仅促进相关产业的发展, 而且使每个用户直接受益。当然, 在实际运行时, 可能会出现各种故障, 导致停电。因此, 快速准确地定位出配电网故障位置, 对提高供电可靠性、快速修复故障和缩短用户停电时间具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。随着配电网智能化水平的不断提高, 广泛利用馈线终端单元(Feeder Terminal Unit, FTU)采集的信息, 对配电网故障进行定位<sup>[2]</sup>。

基于 FTU 采集信息的配电网故障定位方法主要有两种<sup>[3-4]</sup>: 一是矩阵算法。通过构造故障信息矩阵和网络描述矩阵, 利用两个矩阵得到故障判断

矩阵并结合故障判断准则, 从而实现故障定位。另一种是人工智能算法。现已提出的利用智能算法进行配电网故障定位的方法很多, 例如粒子群算法、蝙蝠算法和免疫算法等等。文献[5]在传统粒子群算法的基础上, 引入免疫机制对算法进行改进, 增强了算法的全局搜索能力, 有效提升了算法的收敛速度与故障定位准确性。文献[6]将差分算法的变异、交叉、选择操作引入蝙蝠算法中, 可以有效提高种群多样性, 并且故障定位效果良好、可靠性高。文献[7]应用免疫算法求解含有多个电源的配电网故障定位模型。与遗传算法对比, 发现免疫算法故障定位速度更快, 并具有较好的容错性。

综上所述, 虽然目前利用智能算法对配电网故障进行定位的方法很多, 且各有特色, 但普遍存在收敛速度和容错性较低等缺点。

蝠鲞觅食优化算法(Manta Ray Foraging

**基金项目:** 贵州省科学技术基金(黔科合基础[2019]1100)。

**作者简介:** 徐立立(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 配电网故障诊断; 杨超(1972-), 女, 学士, 副教授, 主要研究方向: 电网规划及电能质量管理; 伍虹(1998-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 互联大电网状态估计; 杜刃刃(1992-), 男, 硕士, 副职调度监控员, 主要研究方向: 负荷识别。

收稿日期: 2021-08-05

Optimization, MRFO)<sup>[8]</sup> 是一种仿生优化算法, 由 Zhao 等人于 2020 年提出。该算法具有收敛速度较快、寻优能力强和可靠性高的特点。因此, 本文将 MRFO 算法应用于配电网故障定位的问题中, 通过仿真测试验证了算法的有效性与正确性, 并与其它算法对比, 发现该算法故障定位速度更快, 且定位的准确率高。

## 1 蝠鲮觅食优化算法的基本原理

MRFO 算法的灵感来自蝠鲮智能觅食策略, 其以分布不均或不规则的浮游生物为食。蝠鲮觅食时, 通常是成群出现的, 而且进化出了一套高效的觅食策略。MRFO 算法通过模仿蝠鲮的链式觅食、螺旋觅食和翻转觅食行为实现对空间内最优解的搜索<sup>[9]</sup>。

### 1.1 链式觅食

在觅食过程中, 蝠鲮可以观察浮游生物的位置并向其游去, 浮游生物浓度越高表示其位置越好。假设高浓度浮游生物的位置表示最优位置, 蝠鲮首尾相连排成一条觅食链。第一个蝠鲮向着最优位置游去, 其它蝠鲮不仅向着最优位置游去, 而且向着前一个蝠鲮的位置游去。也就是说, 在迭代过程中, 每个个体按照当前的全局最优位置和前面个体的位置更新自己的位置。个体位置更新如以下公式所示。

$$x_i^d(t+1) = \begin{cases} x_i^d(t) + r \cdot (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) + \\ \alpha \cdot (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) & i = 1 \\ x_i^d(t) + r \cdot (x_{i-1}^d(t) - x_i^d(t)) + \\ \alpha \cdot (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) & i = 2, \dots, N \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha = 2r \cdot \sqrt{|\lg(r)|} \quad (2)$$

式中,  $t, d$  分别表示迭代次数和维数;  $x_i^d(t)$  表示第  $i$  代的个体位置;  $r$  表示  $[0, 1]$  范围内的随机数;  $x_{best}^d(t)$  表示最优位置;  $\alpha$  表示权重系数。

### 1.2 螺旋觅食

当发现深水中的浮游生物时, 蝠鲮会通过螺旋觅食策略向食物移动。此时, 蝠鲮个体不仅跟随前面个体, 而且会沿着螺旋路径进行位置更新。位置更新公式如下所示。

$$x_i^d(t+1) = \begin{cases} x_{best}^d(t) + r \cdot (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) + \\ \beta \cdot (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) & i = 1 \\ x_{best}^d(t) + r \cdot (x_{i-1}^d(t) - x_i^d(t)) + \\ \beta \cdot (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)) & i = 2, \dots, N \end{cases} \quad (3)$$

$$\beta = 2e^{r_1 \frac{T-t+1}{T} \cdot \sin(2\pi r_1)} \quad (4)$$

式中,  $\beta$  表示螺旋权重系数;  $T$  表示最大迭代次数;  $r_1$  为  $[0, 1]$  上的随机数。上式 (3) 表示蝠鲮种群在最优解附近进行搜索, 使得 MRFO 算法具有良好的局部搜索能力。

每个蝠鲮个体会随机地以食物的位置作为其参考位置进行搜索, 这种搜索机制可以强化算法的全局搜索能力, 避免算法陷入局部最优。其表达式如下:

$$x_{rand}^d = Lb^d + r \cdot (Ub^d - Lb^d) \quad (5)$$

$$x_i^d(t+1) = \begin{cases} x_{rand}^d(t) + r \cdot (x_{rand}^d(t) - x_i^d(t)) + \\ \beta \cdot (x_{rand}^d(t) - x_i^d(t)) & i = 1 \\ x_{rand}^d(t) + r \cdot (x_{i-1}^d(t) - x_i^d(t)) + \\ \beta \cdot (x_{rand}^d(t) - x_i^d(t)) & i = 2, \dots, N \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $x_{rand}^d(t)$  表示个体在搜索空间内随机产生的一个随机位置,  $Lb^d$  和  $Ub^d$  分别表示取值的上、下限。

### 1.3 翻转觅食

在翻转觅食行为中, 蝠鲮以食物的位置为支点, 翻筋斗到一个新的位置。新的位置可能是其当前位置和其对称位置之间的搜索域内的任何位置。随着个体位置到目前找到的最优位置之间的距离减少, 所有个体在搜索空间内逐渐逼近最优解。其表达式如下:

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + S \cdot (r_2 \cdot x_{best}^d - r_3 \cdot x_i^d(t)) \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

式中,  $S$  表示蝠鲮翻转范围的翻转因子。  $S$  的大小决定蝠鲮个体翻转距离, 本文取  $S = 2$ ,  $r_2, r_3$  表示在  $[0, 1]$  内的随机数。

### 1.4 蝠鲮位置二进制处理

由于配电网故障定位问题是 0~1 离散变量优化问题, 因此需要对求解到的蝠鲮个体各位维度的位置离散为二进制, 利用 Sigmoid 函数最终计算出蝠鲮个体对应的位置, 其取值为 0 或 1。位置更新公式如下:

$$Sigmoid(x_i^d(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-10 \times (x_i^d(t+1) - 0.5)}} \quad (8)$$

$$x_i^d(t+1) = \begin{cases} 1 & rand < Sigmoid(x_i^d(t+1)) \\ 0 & rand \geq Sigmoid(x_i^d(t+1)) \end{cases} \quad (9)$$

## 2 MRFO 配电网故障定位的应用

在智能配电网中, FTU 装置一般安装在各馈线中间的分段开关和联络开关上, 起着连接开关与配

电网总站的作用,具有数据处理与转发功能。配电网正常运行时,FTU 装置不会采集到故障过电流信息;配电网馈线发生故障时,FTU 装置采集到故障过电流信息,并向总站发出报警信号。配电网故障定位功能就是利用上传的故障信息,作为程序输入,然后采用 MRFO 算法对配电网各馈线区段的实际状态进行求解。在 MRFO 算法中,蝠鲮个体的位置编码采用二进制编码,个体的位置代表馈线区段的实际状态,蝠鲮种群的维数代表总的区段数。馈线区段的状态为待求量,存在正常和故障两种状态,分别用 0 和 1 表示。算法经过链式觅食、螺旋觅食和翻转觅食等操作,实现对种群个体位置的更新,达到终止条件后,得到蝠鲮种群的全局最优位置,就是馈线区段的运行状态。

### 2.1 故障电流编码

由于上传的信息可分为两类:故障信息和正常信息。所以,可以对电流信息进行 0~1 二进制编码。假设故障电流方向由系统电源流向用户端,1 代表对应的开关流过故障电流,即  $I_j = 1$ ;0 代表对应的开关没有检测到故障电流,即  $I_j = 0$ 。以图 1 所示的配电网模型为例:当馈线区段  $L_4$  和  $L_7$  发生故障时,则开关  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_6, S_7$  均流过故障电流,所以 FTU 上传信息可编码为  $[1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0]$ 。

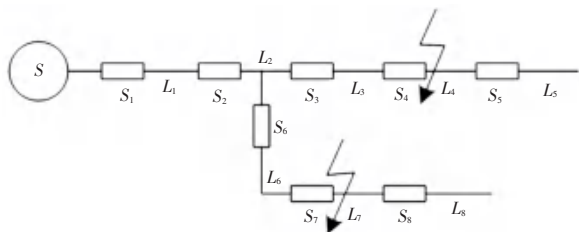


图 1 单辐射状配电网模型

Fig. 1 Model of single radial distribution network

### 2.2 开关函数

开关函数反映了设备信息和电流故障信息之间的相互关系,其模型的准确性将影响故障定位结果<sup>[10]</sup>。建立如下所示的开关函数。

$$I_{S_j}(X) = \prod_{i=1}^N x(i) \quad (10)$$

式中,  $I_{S_j}(X)$  表示第  $j$  个开关的开关函数;  $x(i)$  表示开关  $j$  下游第  $i$  个馈线状态信息;  $\prod$  表示逻辑或运算。

### 2.3 评价函数的构造

评价函数起着协调开关函数与故障电流信息的作用,决定着定位结果的准确程度。由于上传的信息存在畸变或者丢失的情况,需要建立具有容错性

的评价函数,如式(11)所示。

$$fit(X) = \sum_{j=1}^M |I_j - I_{S_j}(X)| + \omega \sum_{j=1}^N |x(j)| \quad (11)$$

式中:  $M$  表示配电网开关总数;  $N$  表示总的馈线区段数;  $I_j$  表示第  $j$  个开关上传的故障信息;  $I_{S_j}(X)$  表示第  $j$  个开关的期望值;  $x(j)$  表示第  $j$  个馈线区段的状态信息;  $\omega$  为提高容错性而取的权重系数,其范围为 0~1,本文中取 0.5。

### 2.4 MRFO 算法定位流程

当配电网发生故障时,以 FTU 上传的信息作为输入量,通过 MRFO 算法进行优化,使评价函数达到最小化,最终判断出故障区段。MRFO 算法定位流程如图 2 所示。

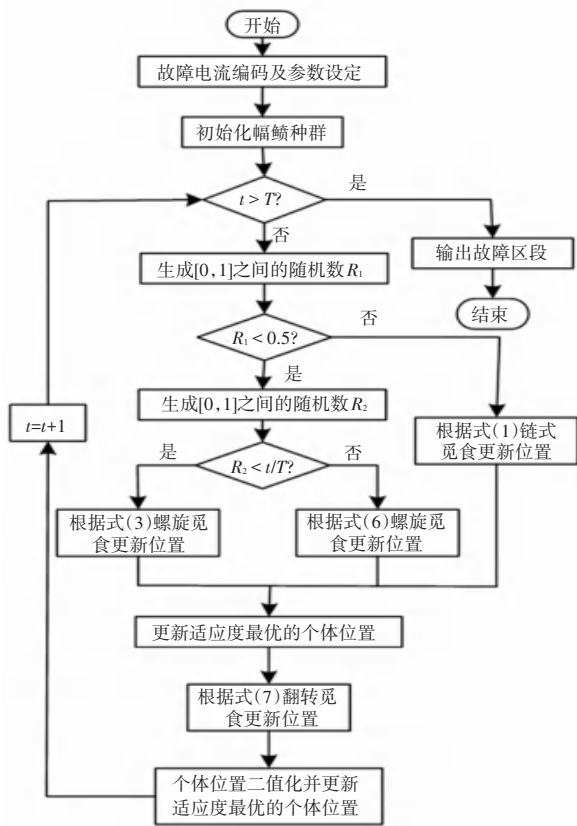


图 2 MRFO 算法定位流程图

Fig. 2 MRFO algorithm location flow chart

## 3 算例分析

采用如图 3 所示的 IEEE33 节点配电网进行仿真测试。在图 3 中, S 表示系统主电源; 1~33 表示线路节点; (1)~(33) 表示馈线区段。在 Matlab 仿真环境下,根据 MRFO 算法原理,编写程序并设置相关参数。为了验证本文所提算法的性能优势,同时运行遗传算法(Genetic Algorithm, GA)和二进制



