

基于差分进化的改进细菌觅食算法在智能配电网故障定位方法中的应用

徐玉韬¹, 谈竹奎^{1*}, 吕黔苏¹, 谢百明¹, 班国邦¹, 袁旭峰¹, 陈玉峰², 吴恒²

(1. 贵州电网有限责任公司电力科学研究院, 贵州 贵阳 550002;

2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要:为了解决含分布式电源的配电网的故障定位问题,提出一种基于差分进化的改进细菌觅食算法进行配电网故障定位,首先针对分布式电源投切问题,构建能够动态适应多个分布式电源投切的开关函数,然后结合区域划分思想,通过将各个配网支路分为有源树和无源树进行故障信息筛选,降低解空间,提高故障定位的速度;同时针对细菌觅食算法精度不高和全局搜索能力较差的问题,借鉴差分进化中的变异和交叉机制,通过多样性控制与交叉操作协调来实现细菌觅食算法在细化搜索与扩展新区之间的协调,提高算法的寻优精度和全局寻优能力,适用于复杂的含分布式电源的配电网。通过算例对该故障定位方法进行仿真,结果表明该算法能准确定位,并具有一定的有效性和容错性。

关键词:配电网;故障定位;细菌觅食;差分进化;区域划分

文章编号:2096-4633(2018)05-0001-01 **中图分类号:**TM744 **文献标志码:**B

近些年,随着经济的飞速发展,城镇配电网改造迅速进行,大量分布式新能源发电接入配电网,这使得传统的结构和潮流都发生了变化,给配电网的规划设计、保护控制、故障定位、自愈控制、优化调度等方面提出新的更高要求和新的挑战^[1-2]。分布式电源 DG(distributed generation, DG)指容量较小(几千瓦到几十兆瓦),其与配电网连接,向负荷或电网直接供电。

目前,配电网基于线路量测装置测量的故障信息进行故障定位的方法主要有两种:一种矩阵类算法^[3-4],该类方法必须基于健全的故障信息才能实现准确的定位,通常采用故障电流判别法,能够迅速实现配电网的故障定位,但是其缺点是容错性较差,一旦出现故障信息丢失、畸变等情况就会发生故障定位不准确的情况;另一种是人工智能算法,该类方法不需要故障信息完全健全,允许部分故障信息发生畸变,主要包括粒子群算法、遗传算法^[5]、蚁群算法^[6]、模拟退火算法^[11-12]等及各类混合算法^[13]。文献[10]提出了一种基于二进制粒子群算法的辐射状配电网故障定位算法,但是该方法针对的是单电源辐射型配电网的,对于多电源并列运行的配电网不能很好的应用;文献[11]针对含分布

式电源配电网的故障定位,构建了能够动态适应分布式电源投切的开关函数,采用粒子群算法和差分进化算法和混合算法进行故障定位,能够准确定位含分布式电源的故障区段;文献[12]提出基于多种群遗传算法的含分布式电源配电网故障区段定位方法,采用了多个种群同时对解空间进行协同搜索,兼顾了算法的全局搜索和局部搜索,适用于复杂的含分布式电源的配电网;文献[13]将蚁群算法应用于配电网的故障定位,并依据分级处理的思想降低解空间,能够实现故障定位速度大大提高。

针对以上问题,本文为了更好的实现分布式发电条件下配电网故障后的定位,提出一种基于差分进化的改进细菌觅食算法进行配电网故障定位,首先构建能够动态适应多个分布式电源投切的开关函数,然后结合区域划分思想,通过将各个支路分为有源树和无源树筛选故障信息,提高故障定位的速度;同时针对细菌觅食算法精度不高和全局搜索能力较差的问题,借鉴差分进化中的变异和交叉机制,通过多样性控制与交叉操作协调来实现细菌觅食算法在细化搜索与扩展新区之间的协调,提高算法的寻优精度和全局寻优能力,适用于复杂的含分布式电源的配电网。通过算例对该故障定位方法进行仿

真,结果表明该算法能准确定位,并具有一定的有效性和容错性^[19-20]。

1 算法思想

1.1 细菌觅食算法基本原理

细菌趋化算法(bacterial foraging optimization, BFO)作为一种新兴的全局随机优化搜索算法,是借鉴细菌趋药性、群体感应机制和细菌繁殖等特性发展而来的,被广大学者广泛应用于机器学习、模式识别等领域^[14-16]。

针对具体问题的求解过程为:产生初始解群体、计算评价函数的值、利用群体的相互影响和作用机制进行迭代优化,通过循环执行趋化、繁殖和迁移 3 个主要算子,来获得最优解的目的。

(1)细菌趋化。菌体先朝某随机方向游动一步,如果这个方向上的适应值比上一步所在位置的适应值低,细菌就进行旋转,对着另一个方向随机方向游动;如果这个方向上的适应值比上个位置高,则沿着该随机方向向前移动。若达到最大次数,则该细菌停止趋化操作,跳转到下一个细菌。

细菌经过一次趋化运动后的位置更新公式为:

$$\theta i(j+1, k, l) = \theta i(j, k, l) + ci + \varphi i \quad (1)$$

式中: ci 表示按选定的方向游动的步长; φi 表示进行方向调整后选定的单位步长向量; $\theta i(j, k, l)$ 表示细菌的空间位置向量, j 表示第 j 代趋化, k 表示第 k 次繁殖, l 表示第 l 代迁移。

(2)细菌繁殖。趋化周期完成后,对每个细菌在生命周期内的适应度进行累加得到细菌能量,按照细菌能量进行排序,淘汰掉能量获取能力差的半数细菌,对能量获取能力较强的半数细菌进行再生。

(3)细菌迁移。繁殖算子完成后,生成一个随机概率,并将它与固定迁移概率 p_{ed} 进行比较,如果小于 p_{ed} 就进行细菌迁移,迁移操作虽然在一定程度上破坏了细菌的趋向性行为,但也增加了细菌寻找食物的概率。

1.2 基于差分进化的细菌觅食算法

本文采用的基于差分进化(differential evolution, DE)的细菌觅食算法(DEBFO)是通过多样性控制与交叉操作协调来实现遗传因子在细化搜索与扩展新区之间的协调。为了保证 BFO 的寻优精度和全局寻优能力,我们借鉴生物进化中采用浮点矢量编码的差分进化思想,在趋化的生命周期完成后,利用父代个

体的差异性来产生子代个体,实现适者生存的进化思想,从而引导搜索过程向最优解逼近。

1.2.1 差分进化改善细菌觅食算法原理

差分进化是遗传算法的改进版本,通过变异、交叉、选择操作,来实现对优化问题的求解,其本质是一种具有择优思想的贪婪遗传算法。

变异算子定义为:

$$P = X_{r1} + F \times (X_{r2} - X_{r3}) \quad (2)$$

式中: X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} 为从进化群体中随机选取的互不相同的三个个体, F 为缩放因子。变异算子充分的利用了种群内的个体信息,利用缩放因子 F 扩展搜索空间。

交叉算子定义为:

$$U_i = \begin{cases} P_i, & \text{if } \text{Rand} < CR \text{ or } i = iRand \\ X_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

式中: CR 为交叉因子,其值一般选 0.9, $iRand$ 为随机维度。

针对细菌趋化算子中随机翻转和游动环节,虽然细菌找到了能量更好的位置,并且指引细菌朝着该方向游动,但是趋化过程的部分维度是在退化。而不是所有的维度都在进化,最后有可能导致细菌进入局部最优区域。因此,本文在细菌的繁殖环节引入差化现象进进化过程中的维度退化现象,增加了种群多样性,同时又没有扼杀种群内的优秀个体,差分思想的引入本文称其为差分繁殖算子。

1.2.2 DEBFO 算法流程

DEBFO 算法的步骤功能和参数设定值如下,图 1 为算法具体流程。

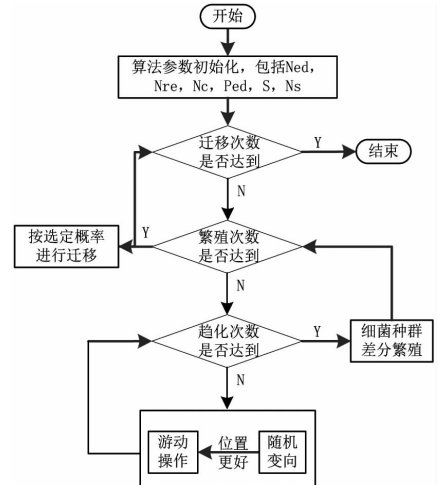


图 1 DEBFO 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of DEBFO algorithm

步骤一:种群初始化。包括迁移次数 N_{ed} , 繁殖次数 N_{re} 、趋化次数 N_c , 基本迁移概率 P_{ed} , 细菌规模数 S , 游动次数 N_s ;

步骤二:初始化细菌位置,并根据适应度函数计算细菌适应度值;

步骤三:细菌趋化操作,按照公式1更新细菌位置,如果翻转的适应值改善,则按照翻转的方向进行游动,直至适应值不再改善或达到设定的最大移动步数 N_s 为止;

步骤四:细菌差分进化繁殖操作。首先进行细菌全体的差分变异,定义细菌当前位置为个体最好位置,细菌具有全局感知能力,定义 X_{gbest} 为全局最优位置, X_{lbest} 为细菌的当前位置, X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} 是随机选择的三个细菌个体,缩放因子 F 取值 0.5。

$$P = X_{r3} + F \times (X_{r1} - X_{r2}) + rand(X_{gbest} - X_{lbest}) \quad (4)$$

然后利用公式3进行细菌差分交叉,增加种群的多样性,对交叉后的 U_i 进行评估,如果子代优于父代,则更新,从而避免维度退化;

步骤五:细菌迁移操作。繁殖算子完成后,生成一个随机概率,并将它与固定迁移概率 P_{ed} 进行比较,如果小于 P_{ed} 就进行细菌迁移,在解空间的定义域内随机初始化;

步骤六:循环结束条件判断,满足则结束,输出结果。

2 主动配电网故障定位数学模型

2.1 概述

在配电网发生故障后,安装于线路上分段的各FTU可检测到故障过流,超过预先整定的故障电流定值则会将故障报警信息上传至SCADA主站统。故障定位算法根据上传信息开始计算及定位故障区

$$I_j^* = \left[\prod_{s1=1}^{S1} K_{DG,s1} (1 - \prod_{i1} L_{j,s1}(i1)) \right] \prod_{d=1}^{M1} x_d - \left[\prod_{s2=1}^{S2} K_{DG,s2} (1 - \prod_{i2} L_{j,s2}(i2)) \right] \prod_{u=1}^{M2} x_u \quad (7)$$

式中: $\prod$ 为逻辑或运算符, $S1, S2$ 为开关 j 前后的电源集合, $S1$ 包括主变电源; $K_{DG,s1}, K_{DG,s2}$ 为分布式电源是否接入配电网的开关投切系数,有0、1取值,1表示接入,0表示未接入; $L_{j,s1}, L_{j,s2}$ 表示节点到电源节点 $S1, S2$ 的馈线区段状态值; $M1, M2$ 为开关 j 前后的馈线段总数; x_d, x_u 表示分别表示开关 j 的下游、上游馈线区段状态值。

2.2 评价函数的构造

细菌觅食算法通过评价函数计算解的适应度,然

段。基于细菌觅食的故障定位主要考虑故障电流编码和开关函数、适应度函数的构造的问题。

2.2 故障电流编码

为了增强主动配电网故障定位的容错能力,本文采用二进制编码来进行问题求解。由于配电网中接入DG,在DG接入支路上的开关流过的故障电流可能会与接入前的方向相反,故需考虑故障电流的方向问题。针对含分布式电源的配电网的故障电流编码方法,假定以系统电源指向用户的方向为馈线正方向,则故障电流 I_j 为^[17]:

$$I_j = \begin{cases} I_j = 1 & \text{表示开关流过正向故障电流} \\ I_j = 0 & \text{表示没有故障电流流过开关} \\ I_j = -1 & \text{表示开关流过负向故障电流} \end{cases} \quad (5)$$

2.3 开关函数的构造

开关函数反映了配网线路的各个分段开关与线路区段之间的连接关系,其作用是实现从开关故障电流越限情况到线路故障状态信息即算法的解的转化。

传统单电源配电网网络的开关函数只有0、1两种情况,由式(2)确定:

$$I_j^* = L_1 \parallel L_2 \parallel \dots \parallel L_m, L_m \in M \quad (6)$$

式中: I_j^* 为开关 j 的故障电流信息开关函数; $\parallel$ 为逻辑或运算符; M 为分段开关 j 的下游线路集合。

对于含分布式电源的网络,由于潮流变得复杂,公式(2)将不再适用,考虑到分布式电源的投切问题,需对以上开关函数改进以适应网络拓扑结构的变化,考虑分布式电源的投切,针对多电源复杂配电网定义新的开关函数为:

后根据适应度值的大小进行排序评价解的好坏,确定最优解,故评价函数是故障定位算法能够得到最优解的关键,本文采用文献[18]提出的评价函数:

$$F(S_B) = \sum_{j=1}^N |I_j - I_j^*(S_B)| + \sum_{i=1}^M |S_B(i) - w| \quad (8)$$

式中: S_B 为解集中的一个解向量; I_j 为配网FTU上传的信息; $I_j^*(S_B)$ 为解向量 S_B 经过开关函数的处理后得到的期望故障电流信息; $\sum_{i=1}^M |S_B(i)|$ 为 S_B 中

发生故障线路区段的数目之和; w 的取值在 $[0,1]$ 之间,本文取 0.5; N 为配电网开关的个数; M 为解向量 S_B 的维度。

根据故障诊断中的“最小集”理论,等式右边的第一项 $\sum_{j=1}^N |I_j - I_j^*(S_B)|$ 表示解向量经过开关函数处理后得到的期望故障电流信息与 FTU 上传信息偏差最小,第二项 $\sum_{i=1}^M |S_B(i) - w|$ 表示故障诊断结果选取故障线路区段数目最小的解。

3 基于区域划分的主动配电网故障定位

3.1 故障定位的区域划分

考虑到目前配电网节点规模较大,在进行算法寻优故障定位之前,首先对 FTU 上传的故障信息进行降维处理,将与故障区段无关的信息剔除以提高故障定位算法寻优的速度,降低算法运行时间,提高求解精度。

本文采用有源树和无源树定义将配电网进行区域划分,其中配电网有源树定义为电源节点之间包括节点和线段构成的连通路经,即为以电源节点初始节点,直到遇到第一个多分支节点所形成的支路;无源树为配电网中出有源树支路之外的支路所形成的节点。

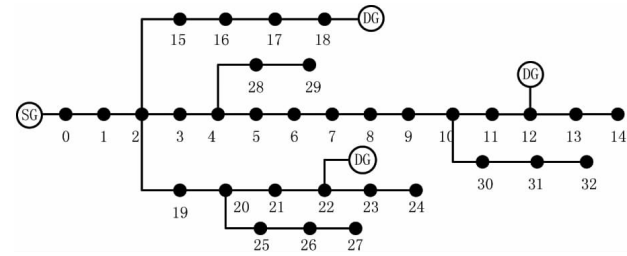


图 2 含 DG 的配电网网络结构图

Fig. 2 The network structure diagram of the distribution network with DG

如图 2 所示为一个简单的含分布式电源的主动配电网,对于该网络来说,有一个主电源 SG,三个 DG 接入节点,根据上述配电网划分原则,则可以形成有源树支路 $[0,1,2]$ 、 $[12,11,10]$ 、 $[13,14]$ 、 $[18,17,16,15]$ 、 $[20,21,22]$ 和 $[23,24]$,其余支路为无源树支路,根据以上进行配电网分区操作,然后对 FTU 上传信息进行筛选降维,以便加快 BCGA 算法寻优速度。具体方法如下:

(1) 对有源树支路,若全部上传信息一致,都为 1 或者 -1,则保留里电源最远的开关信息作为故障

定位的依据,例如若 $[18,17,16,15]$ 上传信息为 $[-1,-1,-1,-1]$,则保留电源最远的 15 号节点和该区段作为故障上传信息。

(2) 对于无源树支路,若全部上传信息全部为 0,则说明故障不在该区段,将该区段滤除。例如 $[30,31,32]$ 上传信息为 $[0,0,0]$,则将该线路段滤除,不带入故障定位运算。

(3) 其余情况下的分区区段信息则保留直接参与 DEBFO 算法的故障定位。

3.2 主动配电网故障定位的流程

综合以上所述,则结合区域划分思想,主动配电网采用 DEBFO 算法实现故障定位整个流程为:

(1) 读取主动配电网网络拓扑结构,对配电网开关节点以及各个线路区段进行识别,对主动配电网进行区域划分,确定主动配电网的有源树支路和无源树支路;

(2) 进行 DEBFO 算法参数初始化,包括 N_{ed} 、 N_{re} 、 N_c 、 P_{ed} 、 S 、 N_s 等;

(3) 判断网络运行状态,根据上传的 FTU 故障信息,按照分区规则剔除无关节点,确定解维度;

(4) 初始化细菌种群,通过式 7 转化开关故障信息,通过式 8 计算细菌适应度值;

(5) 进行细菌趋化,更新细菌位置;

(6) 进行细菌差分进化繁殖操作;

(7) 进行细菌迁移操作;

(8) 判断是否满足终止条件,若满足则输出最优解,若不满足则重复步骤(4) - (7)。

4 算例分析

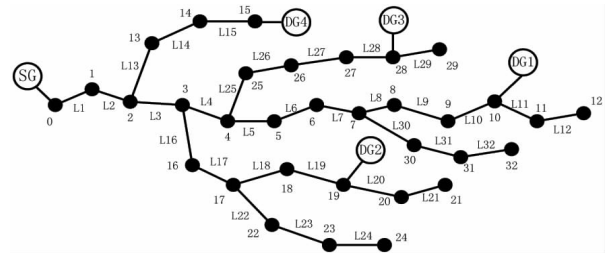


图 3 改进的 33 节点配网系统结构图

Fig. 3 Improved structure diagram of 33 node distribution network system

为验证本文提出算法的有效性,本文以改进的 33 节点配电系统为例,如图 3 所示,该配电网有主变电源 SG,四个 DG 分别接在节点 10、15、19、28 处,线路区段为 L1 ~ 32,采用 MATLAB 编写差分进化细

菌觅食算法程序对配电网发生故障进行仿真分析,设定差分进化的周期 T 为 30,细菌迁移次数 $N_{ed} = 15$,繁殖次数 $N_{re} = 4$ 、趋化次数 $N_c = 30$,细菌规模数 $S = 30$,游动次数 $N_e = 4$,游动的步长 $C = 0.01$,基本迁移概率 $P_{ed} = 0.15$ 。

首先对该配电网的网络结构进行区域划分,无源树为 L3、L4、L5 ~ 7、L16 ~ 17、L22 ~ 24、L30 ~ 32,其余支路为有源树支路。分别检验系统发生单故障和多故障,其故障信息发生畸变和无畸变的情况进行仿真验证。

4.1 单故障仿真验证

故障点设置为单故障情况下故障发生在 L6,假

表 1 单故障故障定位仿真结果

Tab. 1 Simulation results of single fault location

情形	开关信息状态	解空间	畸变开关	输出结果
1	11111 - 1 - 1 - 1 - 100 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 100000 - 1 - 1 - 1 - 10000	16	无	L6
2	11111 - 1 - 1 - 1 - 100000 - 1 - 1 - 1 - 100000000000000	13	无	L6
3	10111 - 1 - 1 - 1 - 100 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 100000 - 1 - 1 - 1 - 10000	16	L2	L6
4	10111 - 1 - 1 - 1 - 100000 - 1 - 1 - 1 - 10000010000000	13	L2、L24	L6

4.2 多故障仿真验证

故障点设置为多故障情况下故障发生在 L6 和 L18,假设发生畸变的故障信息为 S2 和 S24,同时考虑 DG 投切,同样设置四种情形:情形 5 为 DG 全部

接入且开关无畸变;情形 6 为 DG1 和 DG2 接入且开关无畸变;情形 3 为 DG 全部接入但开关 L2 畸变;情形 2 为 DG1 和 DG2 接入但开关 L2、L24 畸变。仿真结果如表 1 所示。

根据表 1 可以发现采用本算法,一方面通过有源树降低了解空间的维度,另一方面,在单故障情况下,本算法能够适应主动配电网分布式电源的投切,对故障上传信息发生畸变的情形也能实现准确定位。同时对于发生了畸变的开关位置也能够准确定位,便于设备维修。

接入且开关无畸变;情形 6 为 DG1 和 DG3 接入且开关无畸变;情形 7 为 DG 全部接入但开关 L2、L24 畸变;情形 8 为 DG1 和 DG3 接入且开关 L2、L28 畸变。仿真结果如表 2 所示。

表 2 多故障故障定位仿真结果

Tab. 2 Simulation results of fault location for multiple faults

情形	开关信息状态	解空间	畸变开关	输出结果
5	11111 - 1 - 1 - 1 - 100 - 1 - 1 - 111 - 100000 - 1 - 1 - 1 - 10000	16	无	L6、L18
6	11111 - 1 - 1 - 1 - 10000011000000 - 1 - 1 - 1 - 10000	13	无	L6、L18
7	10111 - 1 - 1 - 1 - 100 - 1 - 1 - 111 - 100001 - 1 - 1 - 1 - 10000	16	L2、L24	L6、L18
8	10111 - 1 - 1 - 1 - 10000011000001 - 1 - 1 - 1 - 10000	13	L2、L28	L6、L18

故障点设置为多故障情况下故障发生在 L6 和 L18,假设发生畸变的故障信息为 S2 和 S24,同时考虑 DG 投切,同样设置四种情形:情形 5 为 DG 全部接入且开关无畸变;情形 6 为 DG1 和 DG3 接入且开关无畸变;情形 7 为 DG 全部接入但开关 L2、L24 畸变;情形 8 为 DG1 和 DG3 接入且开关 L2、L28 畸变。仿真结果如表 2 所示。

同样的,在配电网发生多重故障的时候,该算法定位程序输出的故障区段定位结果与预设的实际故障位置一致,能够实现故障的准确定位。

为了体现本算法的性能,分别针对情形 1、4、7

采用 BFO 算法和 DEBFO 算法进行主动配电网故障定位仿真运行 50 次,算法性能如表 3 所示。

根据表 3 可以发现,对于无开关畸变的情况,采用 BFO 算法和 DEBFO 算法都能准确的定位故障区段,但是在迭代次数上和时间上,DEBFO 算法要优于 BFO 算法;同时,当系统上传故障信息发生畸变时,DEBFO 算法仍然能够准确定位故障,但是 BFO 算法则会存在一定误差,可能出现定位不准确的情况。因此,本文算法能够实现智能配电网的故障快速准确定位,保证了智能配电网的安全稳定可靠运行。

表 3 算法性能对比
Tab. 3 Algorithm performance comparison

情形	算法	平均迭代次数	平均时间/ms	准确率/%
1	BFO	52. 25	4. 954	99
	DEBFO	35. 62	4. 005	99
4	BFO	71. 35	6. 355	98
	DEBFO	58. 32	5. 223	92
7	BFO	69. 22	6. 296	99
	DEBFO	52. 16	5. 038	90

5 结语

提出一种结合区域划分思想的基于差分进化的改进细菌觅食算法智能配电网故障定位方法。首先首先构建能够动态适应多个分布式电源投切的开关函数,然后结合区域划分思想,通过设置有源树和无源树筛选故障信息,减低故障定位算法解维度;然后利用差分进化中的变异和交叉机制来实现细菌觅食算法在细化搜索与扩展新区之间的协调,并将该改进算法应用于智能配电网的故障区段定位中,实现智能配电网的故障快速准确定位。通过改进的 33 节点系统进行仿真,仿真结果表明该算法具有很好的全局寻优能力,同时在寻优精度和迅速速度方面具有一定的优势,满足配电网故障定位的实时性和准确性要求,具有良好的应用前景。

参考文献:

[1] LIANG Caihao, DUAN Xianzhong. Distributed generation and its impact on power system [J]. Automation of Electric Power System, 2001, 25(22): 53 – 56.

[2] 夏坊, 彭志炜, 李鹏程. 主动配电网技术的研究现状与发展 [J]. 贵州电力技术, 2016, 19(09): 9 – 12.

XIA Fang, PENG Zhiwei, LI Pengchen. Research status and development of active distribution network technology [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2016, 19(09): 9 – 12.

[3] 罗梅, 罗洪耕. 配电网故障定位的一种改进通用矩阵算法 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(05): 33 – 37.

LUO Mei, YANG Honggeng. Universal matrix algorithm for fault location in distribution system [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(05): 33 – 37.

[4] 蒋秀洁, 熊信银, 吴耀武, 等. 改进矩阵算法及其在配电网故障定位中的应用 [J]. 电网技术, 2004, 28(19): 60 – 63.

JIANG Xiujie, XIONG Xinyin, WU Yaowu, et al. Improved matrix algorithm and its application in fault location of distribution network [J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 60 – 63.

[5] 徐密, 孙莹, 李可军, 等. 基于模糊自适应模拟退火遗传算法

的配电网故障定位 [J]. 电测与仪表, 2016, 53(17): 44 – 60.

XU Mi, SUN Ying, LI Kejun, et al. Fault location of distribution networks based on fuzzy adaptive simulated annealing genetic algorithm [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(17): 44 – 60.

[6] 张颖, 周韧, 钟凯. 改进蚁群算法在复杂配电网故障区段定位中的应用 [J]. 电网技术, 2011, 35(01): 224 – 228.

ZHANG Ying, ZHOU Ren, ZHONG Kai. Application of improved ant colony algorithm in fault-section location of complex distribution network [J]. Power System Technology, 2011, 35(01): 224 – 228.

[7] 吕学勤, 陈树果, 田振宁. 基于自适应遗传退火算法的配电网故障定位研究 [J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(03): 1 – 5.

LV Xueqin, CHEN Shuguo, TIAN Zhenning. Fault location of distribution networks based on adaptive genetic annealing algorithm [J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(03): 1 – 5.

[8] 徐密, 孙莹, 李可军, 等. 基于模糊自适应模拟退火遗传算法的配电网故障定位 [J]. 电测与仪表, 2016, 53(17): 44 – 49.

XU Mi, SUN Ying, LI Kejun, et al. Fault location of distribution networks based on fuzzy adaptive simulated annealing genetic algorithm [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(17): 44 – 49.

[9] 李姗姗, 鄂德军, 彭志炜, 等. 基于 ADPSS 系统的复杂电网故障定位 [J]. 贵州电力技术, 2016, 19(08): 31 – 34 + 54.

LI Shanshan, E Dejun, PENG Zhiwei, et al. Fault location in complex power grid based on ADPSS system [J]. guizhou electric power technology, 2016, 19(08): 31 – 34 + 54.

[10] 李超文, 何正友, 张海平, 等. 基于二进制粒子群算法的辐射状配电网故障定位 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(7): 35 – 39.

LI Chaowen, HE Zhengyou, ZHANG Haiping, et al. Fault location for radialized distribution networks based on BPSO algorithm [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(07): 35 – 39.

[11] 周豫, 郑柏林, 廖瑞金, 等. 基于粒子群和差分进化算法的含分布式电源配电网故障区段定位 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(04): 33 – 37.

ZHOU Quan, ZHENG Bolin, LIAO Ruijin, et al. Fault-section location for distribution networks with DG based on a hybrid algorithm of particle swarm optimization and differential evolution

- [J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(04): 33–37.
- [12] 刘鹏程, 李新利. 基于多种群遗传算法的含分布式电源的配电网故障区段定位算法[J]. 电力系统保护与控制, 2016(44): 36–44.
- LIU Pengcheng, LI Xinli. Fault-section location of distribution network containing distributed generation based on the multiple-population genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2016(44): 36–44.
- [13] 陈歆技, 丁同奎, 张钊. 蚁群算法在配电网故障定位中的应用[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(05): 74–77.
- CHEN Xinji, DING Tongkui, ZHANG Zhao. Ant colony algorithm for solving fault location in distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(05): 74–77.
- [14] DONG HWA KIM, AJITH ABRAHAM, JAE HOON CHO. A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization[J]. Information Sciences, 2007, 177(04): 3918–3937.
- [15] ABIDO M A. pitmal design r-system stabilizers using particle swarm optimization[J]. IEEE Trans. On Energy Conversion, 2002, 17(03): 406–413.
- [16] 任佳星, 黄晋英. 一种优化的细菌觅食算法用以解决全局最优化问题[J]. 科技信息, 2012, 7(02): 44–45.
- RENG Jiaxing, HUANG Jinyin. An optimization of bacterial foraging algorithm for solving global optimization problems [J]. Scientific And Technological Information, 2012, 7(02): 44–45.
- [17] 杨继革. 基于遗传算法的配电网故障定位的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [18] 王进强, 陈少华. 基于改进遗传算法的含分布式电源的配电网故障定位[J]. 电力科学与工程, 2013, 29(12): 13–17.
- WANG Jinqiang, CHEN Shaohua. Fault location for distribution network with distributed power based on improved genetic algorithm[J]. Electric Power Science and Engineering, 2013, 29(12): 13–17.
- [19] 杨凤生, 熊波等. 基于数据分析的配电网故障数据特征变量提取[J]. 电力大数据, 2018, 20(03): 22–26.
- YANG Fengsheng, XIONG Bo, et al. Characteristic variable extraction of fault data in distribution feeder based on data analysis[J]. Power systems and big data. 2018, 20(03): 22–26.
- [20] 方伟明, 程汉湘, 李勇, 等. 一种不受波速影响的多端配电网故障定位方法[J]. 广东电力, 2016, 29(04): 79–83, 127.
- FANG Weiming, CHENG Hanxiang, LI Yong, et al. A kind of fault location method for multi-terminal power distribution network not affected by wave speed[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(04): 79–83 + 127.

收稿日期: 2018–03–05

作者简介:



徐玉韬(1982), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为柔性直流配电网运行与控制、分布式电源及微电网。

通讯作者简介:



谈竹奎(1975), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为能源互联网、柔性直流配电网运行与控制。

(本文责任编辑: 范斌)

Application of improved bacteria feeding algorithm based on differential evolution in fault location of smart distribution network

XU Yutao¹, TAN Zhukui¹, LV Qiansu¹, XIE Baiming¹, BAN Guobang¹, YUAN Xufeng¹, CHEN Yufeng², WU Heng²

(1. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002 Guizhou, China;

2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd, Beijing100085, China)

Abstract: In order to solve the problem of the fault location of distribution network with distributed power supply, an improved bacterial foraging algorithm based on differential evolution is proposed. Firstly, the switching function which can dynamically adapt to multiple distributed power supply switching is constructed for distributed power supply and cutting problem. Then, combining the idea of regional division, the fault information is selected by dividing the branches of each distribution network into active tree and passive tree to reduce the solution space and improve the speed of fault location. Also, considering the problem of low precision and poor global search capability for bacterial foraging algorithms, the variation and crossover mechanisms of differential evolution is used. Through the coordination of diversity control and cross operation, the bacterial foraging algorithm can be used to improve the coordination between the refined search and the extended new district, and improve the optimization precision and global optimization ability of the algorithm, which is suitable for the complex distribution network containing distributed power. Finally, The fault location method is simulated by a numerical example, and the results show that the algorithm can be accurately positioned and has certain validity and fault tolerance.

Key words: distribution network; fault location; bacteria foraging; differential evolution; regional division