

基于 SFLA-BPSO 算法的含 DG 配网故障定位方法

张 莲 禹红良 李梦天 凌腾芳 李 涛

(重庆理工大学电气与电子工程学院 重庆 400054)

摘 要 对于在含 DG 的配网故障定位中,标准 BPSO 易陷入局部最优,以致寻优性能下降,影响算法故障定位性能的问题。通过引入 SFLA 中的分组算子和模因组得到 SFLA-BPSO,并建立含 DG 的 9 节点故障定位模型和 IEEE33 节点模型,将其与标准 BPSO 进行了数据对比分析。结果表明,在 9 节点配网故障定位中,SFLA-BPSO 较之于标准 BPSO 准确度平均提高 22.7%,寻优快速性平均提高 62.1%;在 IEEE33 节点配网故障定位中,SFLA-BPSO 较之于标准 BPSO 准确度平均提高 393.1%,寻优快速性平均提高 60.3%。使用 MATLAB 及其 App Designer 搭建软件平台对含 DG 的 IEEE33 节点配网进行测试。测试结果表明,SFLA-BPSO 能够在该软件平台准确定位。

关键词 SFLA-BPSO 配网故障定位 算法性能 MATLAB APP Designer

中图分类号 TP31 TM76 文献标志码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2022.12.047

FAULT LOCATION OF DISTRIBUTION NETWORK WITH DG BASED ON SFLA-BPSO

Zhang Lian Yu Hongliang Li Mengtian Ling Tengfang Li Tao

(School of Electrical and Electrical Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract Aiming at the problem that standard BPSO is easy to fall into local optimum in the fault location of distribution network with DG, so that the performance of optimization performance will be reduced and the performance of fault location of algorithm will be affected. SFLA-BPSO was obtained by introducing the grouping operator and the meme group in SFLA, and 9-node fault location model and IEEE33 node model with DG were established. The results show that in fault location of 9-node distribution network, the accuracy of SFLA-BPSO is 22.7% higher than that of the standard BPSO, and the speed of optimization is 62.1% higher than that of the standard BPSO; the accuracy of SFLA-BPSO is 393.1% higher than that of the standard BPSO, and the speed of optimization is 60.3% higher than that of the standard BPSO. MATLAB and App designer were used to build a software platform to test IEEE33 node distribution network with DG, the test results show that SFLA-BPSO can accurately locate in the software platform.

Keywords SFLA-BPSO Distribution network fault location Algorithm performance MATLAB APP Designer

0 引 言

对于配网而言,随着配电自动化的不断发展,以重合器、断路器或者分段器^[1]为主,通过设备的开断、闭合动作实现对故障区段定位的方式,其较长停电时间的弊端随着通信技术和自动化技术的快速进步而相形见绌。因此,以馈线终端设备(Feeder Terminal Unit,

FTU)为基础,通过 FTU 上传故障信息,主站根据算法判断故障区段的基于 FTU 的配网故障定位方式^[2]成为了配电自动化中故障定位的发展大趋势,而对于基于 FTU 的故障定位方法而言,其故障定位算法的性能显得格外重要。尤其是如今传统化石能源需求逐年增加,越来越多的分布式电源(Distributed Generation, DG)开始并网发电,例如太阳能光伏发电^[3]、风力发电^[4]、燃料电池发电^[5]等。

然而 DG 的接入不仅仅是与传统的集中发电方式相辅相成,同时也给配网带来了巨大的挑战,比如配网结构的改变、装机容量的改变,潮流方向的改变等问题,尤其是配网的稳定性,当故障发生时,能够准确而又快速地对故障进行定位,同时又具有良好容错能力显得十分重要。因此,有很多专家学者对基于 FTU 的配网故障定位算法展开了深入的改进研究。比如李珂等^[6]通过云理论和遗传算法对 BP 神经网络进行优化,以提高故障定位的准确性;Yuan 等^[7]通过改进故障信息矩阵和故障判别依据对矩阵算法进行了矩阵算法,提高了矩阵算法的准确性和容错性;颜景斌等^[8]通过构建新的交叉变异函数改进了遗传算法加快了算法收敛,使其能够快速准确地故障定位。而对于粒子群算法(Particle Swam Optimization, PSO)^[9]而言,该算法简易、稳定性好而且收敛快,却容易早熟收敛、陷入局部最优,影响故障定位的准确性。

因此,本文通过混合蛙跳算法(Shuffled Frog Leading Algorithm, SFLA)^[10]改进二进制粒子群算法(Binary Particle Swam Optimization, BPSO)^[11]得到了 SFLA-PSO 算法,并建立含 DG 的 9 节点配网和 IEEE33 节点配网模型进行仿真,通过和标准 BPSO 的对比验证改进算法的准确性、快速性和容错性,并通过 MATLAB 及 App Designer 搭建软件实验平台进行测试验证。

1 SFLA-BPSO

混合蛙跳算法(Shuffled Frog Leading Algorithm, SFLA),是一种模拟青蛙觅食的群智能算法。该算法不同于如蚁群算法、粒子群算法等大部分群智能算法,它通过自己独特的种群进化机制——分组算子和模因组,使整个粒子种群能够进行有序、有向地寻优进化。因此可通过引入分组算子和模因组改进 BPSO,得到 SFLA-BPSO,下面对其进行具体介绍:

① 分组算子。将整个粒子种群按照适应度函数值大小进行从小到大的升序排列,将种群数为 m 的整个粒子种群每隔 j 个粒子分为 n 个族群,即模因组。这里用 $X_{Mi} = (x_{Mi1}, x_{Mi2}, \dots, x_{MiD})$ 来表示模因组中第 i 个粒子的位置,用 $V_{Mi} = (v_{Mi1}, v_{Mi2}, \dots, v_{MiD})$ 来表示其速度。

② 模因组。根据分组算子可得到的 n 个模因组:
 $V_{M1} = (v_{M11}, v_{M1(1+j)}, v_{M1(1+2j)}, v_{M1(1+3j)}, v_{M1(1+4j)}, v_{M1[1+(n-1)j]})$
 $V_{M2} = (v_{M21}, v_{M2(2+j)}, v_{M2(2+2j)}, v_{M2(2+3j)}, v_{M2(2+4j)}, v_{M2[2+(n-1)j]})$
 \vdots
 $V_{Mn} = (v_{Mn1}, v_{Mn(n+j)}, v_{Mn(n+2j)}, v_{Mn(n+3j)}, v_{Mn(n+4j)}, v_{Mn[n+(n-1)j]})$

在这 n 个模因组中,每一个模因组都能在一定程度上代表整个种群的特性,因此,每个模因组中的粒子根据速度和位置更新公式在进行不断地寻优进化过程中,能够保持良好的种群多样性,不容易陷入局部最优,当族群寻优结束后,模因组进行重组,又组成新的种群再进行模因组的分组寻优^[12]。

因此改进后的 BPSO,通过分组算子和模因组实现“个体——族群——种群”之间的信息传递,使种群具有良好的多样性,更加利于搜寻全局最优,从而保证准确度。则改进后 BPSO 的速度和位置更新公式为:

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{MbiD}^k + c_1 r_1 (P_{id}^k - X_{MbiD}^k) + c_2 r_2 (P_{gd}^k - X_{MbiD}^k) \quad (1)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{MbiD}^k + V_{id}^{k+1} \quad (2)$$

式中: X_{MbiD}^k 表示在维度为 D 维的种群中,粒子 i 在 k 次迭代后族群中的最优位置, V_{MbiD}^k 为其最优速度, P_{id}^k 为该粒子的位置, P_{gd}^k 为种群最优位置, ω 表示其惯性权重, c_1 、 c_2 为学习因子; r_1 、 r_2 是随机数。同样,粒子的位置依然按照标准 BPSO 一样,由粒子速度的大小从概率角度决定即 Sigmoid() 函数,其速度位置关系式如式(3)、式(4)所示。

$$\begin{cases} X_{id}^{k+1} = 1 & rand() < Sigmoid(V_{id}^{k+1}) \\ X_{id}^{k+1} = 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$Sigmoid(V_{id}^{k+1}) = \begin{cases} 0.98 & V_{id}^{k+1} > 4 \\ 1/(1 + e^{-V_{id}^{k+1}}) & -4 \leq V_{id}^{k+1} \leq 4 \\ -0.98 & V_{id}^{k+1} < -4 \end{cases} \quad (4)$$

因此 SFLA-BPSO 算法流程如图 1 所示。

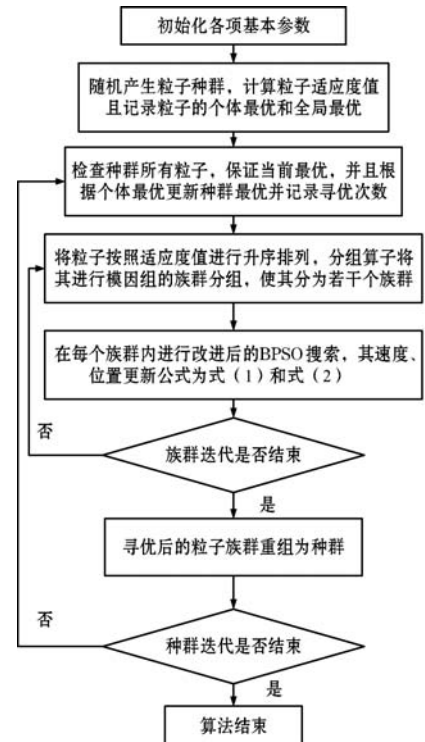


图 1 SFLA-BPSO 算法流程

2 含 DG 配网的 SFLA-BPSO 算法故障

2.1 故障定位原理

FTU 是配网检测设备中的基本单元,它可以监测开关节点上的故障过流信息,由于 DG 的接入改变了配网的网络结构,从而对故障电流方向产生了影响,现假定正方向为系统电源指向用户的方向,反方向即为 DG 指向用户。当有系统侧故障过流信息的时记为 1;当有 DG 侧故障过流信息的时记为 -1;没有则为 0。其表示方式如式(5)所示。

$$I_j = \begin{cases} 1 & \text{正向故障电流} \\ -1 & \text{反向故障电流} \\ 0 & \text{无故障电流} \end{cases} \quad (5)$$

通过这样的故障信息表示方式,就可以将所有检测到的故障过流信息进行编码上传,而通过把与之相对应区段的状态对粒子位置进行初始化,把其区段总数作为粒子维度,这样的话,求馈线区段的状态问题就可以转化为粒子群求最优解问题;通过适应度函数评价当前粒子的位置的好坏,从而不断地改变粒子的速度和位置,不断地向着全局最优位置靠近,终得到全局最优位置,也就是所求的故障区段的实际状态^[13]。

2.2 构建开关函数

在接入 DG 后的配网里,当出现故障的时候,故障点两侧分别会监测来自系统电源和 DG 的故障电流,即开关函数会包括两个部分:一部分是系统电源到故障区段;另一部分是分布式电源到故障区段。因此,不同于传统配网的开关函数,分布式电源中建立的开关函数^[14]如下:

$$S_j^*(x) = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_j (L_j \in M) \quad (6)$$

$$I_j^*(x) = k_1(1 - S_1^*(j)) \times S_2^*(j) - k_2(1 - S_3^*(j)) \times S_4^*(j) \quad (7)$$

式中:“+”为“或”运算;假定第 j 号开关为分断点,此时配网被分为系统电源所在的上半区和分布式电源所在的下半区; k_1 、 k_2 分别表示区域电源的开关系数,取“1”表示该区域电源接入,“0”则表示未接入; $S_j^*(x)$ 为检测的馈线区段状态; $S_1^*(j)$ 表示开关 j 至上半区直到系统电源的所有馈线区段运算结果, $S_3^*(j)$ 表示开关 j 至下半区直到分布式电源的所有馈线区段运算结果; $S_2^*(j)$ 、 $S_4^*(j)$ 分别表示上下半区所有馈线区段运

算结果; M 表示与开关节点相关联的所有下游区段的集合。

2.3 改进适应度函数

适应度函数表示 FTU 上传的故障信息与其对应的开关函数期望值的差值,粒子群算法通过构建适应度函数,根据该差值寻找最优解,其值越小表明越接近最优值,通过如此不断地寻优从而实现配网故障定位。因此可初步用下式适应度函数进行寻优:

$$Fit(x) = \sum_{j=1}^N |I_j(x) - I_j^*(x)| \quad (8)$$

但是式(8)在某些情况下会产生误判,而文献[15]对该适应度函数的误判过程进行了分析,因此本文改进适应度函数采取以下适应度函数来对故障点定位的结果是否合理进行评价^[16]:

$$Fit(x) = \sum_{j=1}^N |I_j(x) - I_j^*(x)| + \beta \sum_{j=1}^N |S_B(j)| \quad (9)$$

式中: M 表示系统中所有馈线区段的数量,一般 $M = N$; $I_j(x)$ 表示 FTU 检测到的实时故障信息,即当第 j 个开关节点检测到有故障过流信息时 $I_j(x) = 1$,反之则为 0; $I_j^*(x)$ 为上述开关函数,表示开关 j 的期望值。 $S_B(j)$ 为区段状态, β 为 0 到 1 的随机正系数,在本文中取 0.5^[17]。

3 算例模型分析

3.1 含 DG 的 9 节点配网模型

某含 DG 的 9 节点配电网网络如图 2 所示,现以此作为算例,使用 MATLAB 软件将 SFLA-BPSO 算法和标准 BPSO 算法进行算例的对比分析。

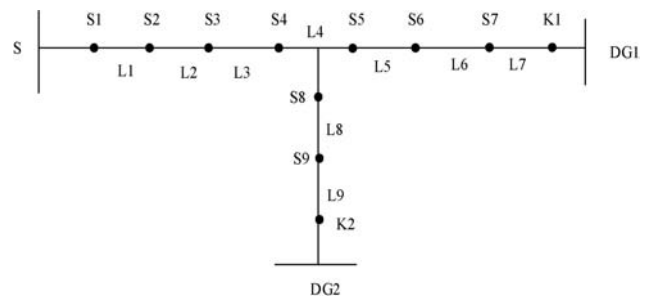


图2 某含 DG 的 9 节点配电网网络

根据 FTU 上传的开关节点故障信息,运用算法对配网进行故障定位。算法程序在不同寻优次数下的情况,连续运行 50 次,在 10 次不同准确度数据中取数据 5 次并绘制表格列出其准确度表(表 1 - 表 3)。

表 1 标准 BPSO 准确度(%)

寻优次数	电源系数[K1,K2]					
	[1,0]		[0,1]		[1,1]	
	故障区段 8	故障区段 3,9	故障区段 7	故障区段 5,8	故障区段 6	故障区段 4,8
5	34.0	33.4	33.6	38.0	34.6	34.6
6	46.0	47.6	51.8	53.6	50.2	53.0
7	59.8	64.0	59.2	65.4	61.6	67.2
8	70.4	75.0	70.6	74.6	74.0	77.8
9	81.6	83.8	81.0	88.2	83.2	82.8
10	86.6	91.6	88.0	93.6	89.6	90.2
15	95.6	96.0	96.0	96.8	95.2	94.8
20	97.4	98.2	98.2	99.0	98.2	97.4
25	98.0	98.8	99.2	99.2	98.8	98.4

表 2 SFLA-BPSO 算法准确度(%)

寻优次数	电源系数[K1,K2]					
	[1,0]		[0,1]		[1,1]	
	故障区段 8	故障区段 3,9	故障区段 7	故障区段 5,8	故障区段 6	故障区段 4,8
5	62.2	59.8	60.4	65.6	60.0	61.2
6	72.8	64.6	71.2	72.6	72.4	73.0
7	82.0	80.4	79.2	79.6	84.8	81.2
8	85.2	86.4	83.2	88.0	91.6	89.0
9	91.0	92.0	89.2	94.0	94.6	90.8
10	93.2	95.6	95.6	96.8	96.0	93.6
15	96.8	97.0	97.6	98.2	97.0	96.0
20	98.0	98.6	98.2	99.2	98.0	98.2
25	98.8	99.2	99.2	99.2	99.2	99.0

表 3 SFLA-BPSO 算法较之于原算法的准确度同比增长表(%)

寻优次数	电源系数[K1,K2]						平均增长
	[1,0]		[0,1]		[1,1]		
	故障区段 8	故障区段 3,9	故障区段 7	故障区段 5,8	故障区段 6	故障区段 4,8	
5	94.4	79.0	79.8	95.2	73.4	76.9	83.1
6	64.7	34.6	37.5	40.1	56.7	58.0	48.6
7	40.0	22.7	33.8	34.5	40.4	32.5	34.0
8	21.0	15.2	16.5	23.2	26.5	22.9	20.9
9	11.5	2.4	9.6	15.5	13.7	9.1	10.3
10	7.6	3.0	8.6	10.0	5.0	2.4	6.1
15	1.3	1.0	1.7	2.3	0.0	-0.2	1.0
20	0.6	0.4	0.0	0.8	-0.2	0.0	0.3
25	0.6	0.2	0.0	0.2	0.6	0.4	0.3

除了对算法的准确性进行数据采集分析对比外,还需对快速性进行数据采集和对比分析。因此采集算法从相同的故障区段、相同的初始值找到相同全局最优值的寻优次数,即准确定位时的寻优次数数据,共采集 5 组数据,并同样计算算法的快速性同比增长值,如当 L8 发生故障时,SFLA-BPSO 算法比标准 BPSO 的快速性增长百分比为: $(13.6 - 6.2) / 6.2 \times 100\% = 41.9\%$ (保留小数点后 1 位),并将所得数据绘制成表,如表 4 所示。

表 4 SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 算法的快速性同比增长表

故障区段	算法信息	5 次算法运行分别寻找到最优值(准确定位)所用寻优次数					平均寻优次数	快速性提高 /%	平均提高 /%
		4	2	3	5	4			
L8	改	4	2	3	5	4	3.6	60.9	62.1
	原	11	8	10	9	8	9.2		
L3 L9	改	3	3	3	2	4	3.0	66.7	
	原	8	9	12	10	6	9.0		
L7	改	2	3	2	2	3	2.4	66.7	
	原	9	8	6	6	7	7.2		
L5 L8	改	2	3	3	2	4	2.8	66.7	
	原	7	8	10	10	7	8.4		
L6	改	3	3	3	3	4	3.2	57.9	
	原	8	7	9	7	7	7.6		
L4 L8	改	5	3	3	4	4	3.8	53.7	
	原	9	8	7	10	7	8.2		

然而在实际中,由于 FTU 恶劣的工作环境,FTU 采集的信息可能有误,比如过流信息“1”可能会变化为“0”,“-1”变为“0”,即信息畸变。因此,将程序运行 50 次采集相应的数据可得到如表 5 所示。

表 5 FTU 信息畸变下 SFLA-BPSO 算法的故障定位

FTU 上传信息	畸变位置	定位输出结果	故障区段
[1111 - 1 - 1010]	L7	[000000010]	L8
[111 - 10 - 1 - 111]	L5	[001000001]	L3、L9
[1011111 - 1 - 1]	L2	[000000100]	L7
[11111 001 - 1]	L4	[000010010]	L5、L8
[111111 - 10 - 1]	L8	[000001000]	L6
[1111 - 10 - 10 - 1]	L6	[000100010]	L4、L8

根据分析可知:在含 DG 的 9 节点配网故障定位中,无论是单重故障抑或两重故障,标准 BPSO 和 SFLA-BPSO 算法都能准确定位,并且准确度都能达到 98% 以上,但是 SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 准确度提高 22.7%,寻优快速性平均提高 62.1%,具有更好的寻优性能,并且当 FTU 由于各种原因上报信息发生畸变时,SFLA-BPSO 依然能够准确地对故障区段进

行定位,具有容错性。

但是含 DG 的 9 节点配网模型比较简单,并不具有代表性,因此以 IEEE33 节点配网模型为例进行 SF-
LA-BPSO 算法的故障定位分析,如图 3 所示。

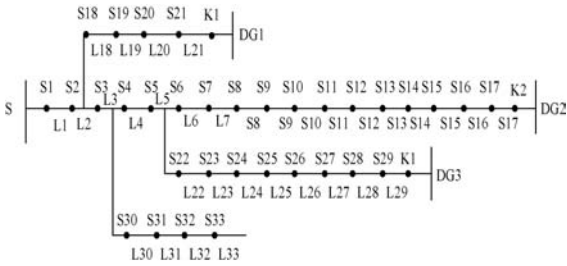


图 3 含 DG 的 IEEE33 节点配电网网络

3.2 含 DG 的 IEEE33 节点配网

采集相应不同 DG 接入下的数据可得表 6 - 表 8 并进行准确性、快速性和容错性分析。由于标准 BPSO 在寻优次数较低时无法定位,因此表 6 - 表 8 中数据均是从寻优次数为 10 开始。

根据表 6、表 7 及相关计算公式计算算法的准确度同比增长值,如当故障区段为 L11,寻优次数为 10 时,SFLA-BPSO 算法比标准 BPSO 的准确度增长百分比为: $[(29.2 - 3.2) / 3.2] \times 100\% = 812.5\%$ (保留小数点后 1 位),具体数据结果如表 8 所示。

表 6 标准 BPSO 准确度(%)

寻优次数	电源系数 [K1, K2, K3]																准确度平均值
	[0,0,0]		[0,0,1]		[0,1,0]		[1,0,0]		[0,1,1]		[1,1,0]		[1,0,1]		[1,1,1]		
	故障区段 11	故障区段 7、27	故障区段 25	故障区段 8、26	故障区段 10	故障区段 11、22	故障区段 20	故障区段 18、24	故障区段 12	故障区段 10、31	故障区段 8	故障区段 9、18	故障区段 13	故障区段 7、23	故障区段 4	故障区段 9、23	
10	3.2	2.8	2.0	2.4	4.8	2.4	3.2	2.4	2.0	2.8	2.0	3.0	1.6	3.2	2.0	2.0	2.6
15	28.8	32.0	27.2	33.6	23.6	36.8	27.2	37.6	28.8	37.5	32.8	36.4	25.6	39.2	40.4	37.6	32.8
20	74.8	78.0	77.2	77.2	76.0	82.0	72.0	78.8	75.6	79.6	77.2	84.0	74.0	86.4	82.0	78.8	78.5
25	92.2	93.2	92	93.6	93.2	93	92.6	90.4	93.4	93.4	93.6	94	96	94.6	95	94.2	93.4
30	98.8	98.8	97	97.6	98	98.4	98.6	98.6	97.8	99	98.8	98.4	98.4	98.2	99	99	98.4

表 7 SFLA-BPSO 算法准确度(%)

寻优次数	电源系数 [K1, K2, K3]																准确度平均值
	[0,0,0]		[0,0,1]		[0,1,0]		[1,0,0]		[0,1,1]		[1,1,0]		[1,0,1]		[1,1,1]		
	故障区段 11	故障区段 7、27	故障区段 25	故障区段 8、26	故障区段 10	故障区段 11、22	故障区段 20	故障区段 18、24	故障区段 12	故障区段 10、31	故障区段 8	故障区段 9、18	故障区段 13	故障区段 7、23	故障区段 4	故障区段 9、23	
10	29.2	40.8	38.0	40.0	43.6	50.4	43.6	50.0	50.4	52.8	51.6	56.8	48.8	51.6	48.4	51.6	46.7
15	70.4	68.0	68.4	66.6	76.6	69.2	70.0	71.6	74.8	71.6	78.0	79.2	70.2	76.4	73.6	73.2	72.4
20	81.6	82.0	79.0	80.0	82.0	84.8	80.0	82.4	82.0	86.4	86.8	85.8	80.0	86.4	82.8	84.4	82.8
25	93.6	94.0	92.2	93.6	93.8	92.4	90.8	91.0	96.5	93.0	93.4	94.0	94.2	93.4	93.8	93.6	93.1
30	98.8	98.4	97.6	97.4	98.0	97.8	97.8	97.6	97.8	98.2	98.0	98.6	98.2	98.8	98.6	99.0	97.9

表 8 SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 的准确度同比增长表(%)

寻优次数	电源系数 [K1, K2, K3]																平均增长	
	[0,0,0]		[0,0,1]		[0,1,0]		[1,0,0]		[0,1,1]		[1,1,0]		[1,0,1]		[1,1,1]			
	故障区段 11	故障区段 7、27	故障区段 25	故障区段 8、26	故障区段 10	故障区段 11、22	故障区段 20	故障区段 18、24	故障区段 12	故障区段 10、31	故障区段 8	故障区段 9、18	故障区段 13	故障区段 7、23	故障区段 4	故障区段 9、23		
10	812.5	1357.1	1800.0	1566.7	808.3	2000.0	1262.5	1983.3	2420.0	1785.7	2480.0	1793.3	2950.0	1512.5	2320.0	2480.0	1833.2	393.1
15	144.4	112.5	151.5	98.2	224.6	88.0	157.4	90.4	159.7	90.9	137.8	117.6	174.2	94.9	82.2	94.7	126.2	
20	9.1	5.1	2.3	3.6	7.9	3.4	11.1	4.6	8.5	8.5	12.4	2.1	8.1	2.5	1.0	7.1	6.1	
25	1.5	0.9	0.2	0	0.6	-0.6	2.0	0.7	3.3	-0.4	0.2	0.0	-1.9	-1.3	-1.3	-0.6	0.2	
30	0.0	-0.4	0.6	-0.2	0.0	-0.6	-0.8	-1.0	0.0	-0.6	-0.8	0.2	-0.2	0.6	-0.4	0.0	-0.2	

同理可计算得到 SFLA-BPSO 算法与标准 BPSO 的快速性对比表以及 FTU 畸变下的 SFLA-BPSO 算法故障定位容错率,分别如表 9、表 10 所示。

表 9 SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 算法的快速性同比增长表

故障区段	算法信息	5 次算法运行分别寻找最优值(准确定位)所用寻优次数						平均寻优次数	快速性提高 /%	平均提高 /%
		9	8	6	7	9	7.8			
L8	①	9	8	6	7	9	7.8	59.8	60.3	
	原	20	15	22	21	19	19.4			
L6 L26	①	8	4	5	8	9	6.8	52.8	60.3	
	原	16	20	17	18	20	18.2			
L22	①	9	4	10	8	5	7.2	66.7	60.3	
	原	19	20	23	21	25	21.6			
L7 L27	①	10	4	9	6	8	7.4	60.6	60.3	
	原	18	20	16	21	19	18.8			
L10	①	7	11	6	4	11	7.8	54.7	60.3	
	原	17	19	20	14	16	17.2			
L11 L25	①	10	8	5	9	7	7.8	62.1	60.3	
	原	16	26	24	19	18	20.6			
L2	①	4	8	8	6	3	5.8	63.8	60.3	
	原	14	13	15	17	21	16			
L20 L24	①	4	11	7	6	10	7.6	59.6	60.3	
	原	16	23	17	18	20	18.8			
L12	①	8	10	7	6	5	7.2	59.6	60.3	
	原	17	15	20	18	19	17.8			
L23 L33	①	8	6	5	10	11	8	63.3	60.3	
	原	25	23	24	18	19	21.8			
L6	①	5	9	6	9	11	8	56.0	60.3	
	原	19	16	20	21	15	18.2			
L14 L21	①	7	4	11	6	10	7.6	61.2	60.3	
	原	20	15	19	23	21	19.6			
L13	①	7	7	10	13	11	9.6	56.4	60.3	
	原	20	19	21	22	28	22			
L7 L23	①	6	10	7	6	6	7	65.7	60.3	
	原	21	22	18	19	22	20.4			
L27	①	8	5	11	7	5	7.2	63.6	60.3	
	原	18	21	19	18	23	19.8			
L9 L24	①	9	8	8	9	6	8	58.8	60.3	
	原	15	16	22	23	21	19.4			

表 10 FTU 信息畸变下 SFLA-BPSO 算法的故障定位

FTU 上传信息	畸变位置	定位输出结果	故障区段
[11111110111000000000000000000000]	L8	[00000000001000000000000000000000]	L11
[11111110000000000000000011011011000000]	L24	[00000010000000000000000000000000]	L7 L27
[111110000000000000000000001111-10-1-10000]	L27	[00000000000000000000000000000000]	L25
[1110111100000000000000000011111-1-1-10000]	L4	[00000001000000000000000000000000]	L8 L26
[1111111111-1-10-1-1-1-10000000000000000000]	L13	[00000000010000000000000000000000]	L10
[1111111111-1-1-10-1-10000100000000000000]	L15	[0000000000100000000010000000000000]	L11 L22
[110000000000000000001100000000000000]	L21	[000000000000000000000100000000000000]	L20
[111100000000000000001-1-1-11110000000000]	L5	[000000000000000000001000001000000000]	L18 L24
[11111111011-1-1-1-1-10000-1-1-1-1-1-1-10000]	L10	[0000000000010000000000000000000000]	L12
[1111111101-1-1-1-1-1-10000-1-1-1-1-1-1-11100]	L9	[00000000010000000000000000000100]	L10 L31
[11111011-1-1-1-1-1-1-1-1-1-10000000000000]	L6	[0000000100000000000000000000000000]	L8
[101111111-1-1-1-1-1-1-1-1-11-1-1-10000000000000]	L2	[0000000010000000001000000000000000]	L9 L18
[1111111110110000-1-1-1-1-1-1-1-1-1-10000]	L11	[00000000000100000000000000000000]	L13
[11101110000000000-1-1-1-111-1-1-1-1-1-10000]	L4	[000000100000000000000000100000000000]	L7 L23
[1101-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-10000]	L3	[0001000000000000000000000000000000]	L4

分析可知,在含 DG 的 IEEE33 节点配电网的故障定位中,无论是单重故障抑或两重故障,标准 BPSO 和 SFLA-BPSO 算法都能准确定位,并且准确度都能达到 97.0% 以上,但是 SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 准确度平均提高 393.1%,寻优快速性平均提高 60.3%,具有更好的寻优性能,并且当 FTU 由于各种原因上报信息发生畸变时依然能够准确地对故障区段进行定位具有容错性。

4 搭建软件实验平台

在如今建模仿真软件越来越多样化的环境下,一个拥有十分完善配套生态的软件特别具有竞争力,而 MATLAB 就是当今国际科学应用仿真软件的代表之一。在 MATLAB 2016a 及后续的版本中,MathWorks 推出并逐渐完善了 GUIDE 的替代品——App Designer^[18],与 GUIDE 相比,能够通过图形图像表达、以模块化进行编程开发软件的方式,使得 App Designer 能够更加直观方便地进行交互式设计。因此,本文软件实验平台以 MATLAB 2019a 为基础进行数据采集分析,使用如图 4 所示 App Designer 设计软件,并且以 IEEE33 节点配网结构为例运用 SFLA-BPSO 算法进行验证。



图 4 APP Designer 软件设计界面

搭建如图 5 所示软件实验平台。在本软件平台中,其左侧为“DG 接入控制模块”,在软件内对 DG1、DG2、DG3 的投切进行表示;其中部为“故障信息模块”,显示本软件的算例模型——IEEE33 节点配网网络模型,并在“FTU 信息”一栏中,显示 FTU 上报的信息,并且通过“清除数据”和“故障定位”可实现对数据信息的清除和故障定位;其右侧为“故障显示模块”,故障指示灯的“绿”和“红”分别表示该区段正常和该区段故障。



图 5 软件实验平台

软件实验平台搭建后需要进行测试,本软件的测试如下所述。

软件测试共有三次:测试一,单 DG 接入,开关信息为[0,1,0]的 L11、L22 故障;测试二,双 DG 接入,开关信息为[0,1,1]的 L12 故障;测试三,三 DG 均接入,开关信息为[1,1,1]的 L9、L23 故障。

以下是测试过程及结果。

测试一:开关信息为[0,1,0]时,L11、L22 故障,如图 6 所示。



图 6 测试一结果

测试二:双 DG 接入,开关信息为[0,1,1]的 L12 故障,如图 7 所示。



图 7 测试二结果

测试三:三 DG 均接入,开关信息为[1,1,1]的 L9、L23 故障,如图 8 所示。



图 8 测试三结果

根据三次测试结果可知,对于如图 3 所示的 IEEE33 节点配网网络模型,对于该网络的故障定位而言,三次测试结果符合理论结果,即说明 SFLA-BPSO 算法在本软件中能够准确定位。

5 结 语

本文在标准 BPSO 中引入了 SFLA 中的分组算子和模因组,得到了改进后的 SFLA-BPSO 算法,并构建了开关函数、适应度函数,通过含 DG 的 9 节点配网模型和 IEEE33 节点配网模型对 SFLA-BPSO 算法进行了准确性、快速性和容错性的数据对比。结果表明,在含 DG 的 9 节点配网中,SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 准确度平均提高 22.7%,寻优快速性平均提高 62.1%;在含 DG 的 IEEE33 节点配网中,SFLA-BPSO 算法较之于标准 BPSO 准确度平均提高 393.1%,寻优快速性平均提高 60.3%,具有更好的寻优性能,且当 FTU 发生信息畸变时依然能够准确地对故障区段进行定位具有容错性。本文使用 MATLAB 的 App Designer 搭建了软件实验平台并进行了测试,测试结果表明,SFLA-BPSO 算法在本软件平台中能够准确定位。

参 考 文 献

- [1] 吴成明,杨逸,张杰,等. 基于重合闸的配电网故障区段定位研究[J]. 电工材料,2019(4):23-27,32.
- [2] 全业生,徐钟祝,余阳,等. 配网故障定位方法研究[J]. 现代工业经济和信息化,2018,8(13):123-124,133.
- [3] 乐健,朱江峰,孙旻,等. 大规模分布式光伏接入的配网风险评估及应对措施研究[J]. 电测与仪表,2019,56(14):28-33.
- [4] Ahmed T, Mohamed M, Abdulhafid F, et al. Grid connected wind energy system through a back-to-back converter[J]. Computers and Electrical Engineering, 2020, 85:1-14.
- [5] Cheng P, Shan R, Yuan H R, et al. Bioelectricity generation from the salinomycin-simulated livestock sewage in a Rhodococcus pyridinivorans inoculated microbial fuel cell[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2020, 138:76-79.
- [6] 李珂,何晋,曹鲁成,等. 优化 BP 神经网络在配电网故障定位中的应用[J]. 电工技术,2019(19):1-3.
- [7] Yuan C, Zeng X, Xia Y. Improved algorithm for fault location in distribution network with distributed generations [C]//Proceedings of the 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. IEEE, 2008.
- [8] 颜景斌,夏赛,王飞,等. 基于改进遗传算法的有源配电网故障定位分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2019,31(6):107-112.
- [9] 程璞. 基于粒子群算法的配电网故障定位研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2017.
- [10] Ding W, Sun Y, Ren L, et al. Multiple lesions detection of fundus images based on convolution neural network algorithm with improved SFLA [J]. IEEE Access, 2020, 8: 97618 - 97631.
- [11] 胡清,张强. 基于改进二进制粒子群算法的配电网故障定位[J]. 南京工程学院学报(自然科学版),2016,14(3):77-81.
- [12] 张莲,禹红良,余松林,等. 基于配网故障定位的一种算法改进[J]. 电子世界,2019(23):47-48.
- [13] 朱桐枫. 改进粒子群算法在配电网故障定位中的应用[D]. 恩施:湖北民族大学,2019.
- [14] 余兵. 含分布式电源的配电网故障区间定位及恢复研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2019.
- [15] 卫志农,何桦,郑玉平. 配电网故障区间定位的高级遗传算法[J]. 中国电机工程学报,2002(4):128-131.
- [16] Li Y, Ye H, Chen Z. Binary particle swarm optimization algorithm with gene translocation for distribution network fault location [C]//2012 Spring Congress on Engineering and Technology. IEEE, 2012.
- [17] 马少飞,胡俊,刘强,等. 基于粒子群算法的配电网故障定位研究[J]. 智慧电力,2018,46(9):83-87.
- [18] Sardiñas-Fernández R, García-Juarez A, Zaldivar-Huerta I E, et al. Matlab App Designer Tool To Study a Microwave Photonic Filter That Integrates Analog and Digital Modulation Formats [J]. International Journal for Light and Electron Optics, 202(3):163589.
- ~~~~~
- (上接第 302 页)
- [9] 翟冬梅. 基于深度学习的短时交通流预测研究[D]. 北京:北京交通大学,2019.
- [10] 尹杨. 基于深度学习的路网短时交通流分析与预测研究[D]. 西安:西安邮电大学,2019.
- [11] 钱伟,车凯,李冰锋. 基于组合模型的短时交通流量预测[J]. 控制工程,2019,26(1):125-130.
- [12] 李嘉威. 基于组合模型的交通流量预测[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2019.
- [13] Liu X, Huang X, Chen L, et al. Prediction of passenger flow at Sanya airport based on combined methods [C]//International Conference of Pioneering Computer Scientists, Engineers and Educators. Springer, 2017:729-740.
- [14] Yu H Y, Wu Z, Wang S Q, et al. Spatiotemporal recurrent convolutional networks for traffic prediction in transportation networks [J]. Sensors, 2017, 17(1):1501.
- [15] Zhang J B, Zheng Y, Qi D K. Deepspatio-temporal residual networks for citywide crowd flows prediction [C] //31st AAAI Conference on Artificial Intelligence. ACM, 2017:1655-1661.
- [16] Zhang J B, Zheng Y, Qi D K, et al. Predicting citywide crowd flows using deep spatio-temporal residual networks [J]. Artificial Intelligence, 2018, 259:147-166.