

[文章编号] 1003-4684(2019)01-0057-04

基于 RCA-BA 算法的配电网故障区段定位研究

万英杰¹, 刘 辉²

(1 湖北工业大学后勤管理处,湖北 武汉 430068;2 湖北工业大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430068)

[摘 要] 为提高配电网故障区段定位灵敏度和准确率,快速处理故障,恢复供电。将可逆元胞自动机(RCA)与蝙蝠算法(BA)相结合,将蝙蝠看作元胞形成可逆元胞蝙蝠算法(RCA-BA)。蝙蝠不断地在其邻居和前置状态范围内进行寻优。利用动态惯性系数改进 BA 算法的速度、位置等变量的更新方式,增强了 RCA-BA 算法搜索的灵敏度,提高了算法搜索到全局最优解的概率。MATLAB 仿真结果表明可逆元胞蝙蝠算法能够迅速准确的定位故障区段,同时受采集信号畸变的影响小。

[关键词] 配电网;蝙蝠算法;故障定位;元胞自动机

[中图分类号] TM726.2

[文献标识码] A

配电网故障定位技术,目前主要集中在矩阵理论和人工智能两个方面^[1]。基于矩阵理论配电网故障区段定位法,原理简单,但易受设备故障或环境因素影响,导致 FTU 上传的故障信息出现错报、漏报及信号畸变,此时再应用矩阵算法来进行配电网故障区段的定位,则会导致结果出现较大的误差,甚至无法诊断出结果。

由于采用神经网络等结构来抽象和模拟配电网数学模型,基于人工智能的配电网故障区段定位算法可以对信息具有一定的冗余处理和纠错能力^[2]。这种能力能够避免因误报、漏报、错报以及信号畸变所带来故障位置误判、错判现象。同时,人工智能算法具有自我学习机制,能够根据配电网结构形成特有的快速故障诊断方式,提高诊断效率和正确率^[3]。

本文以人工智能算法中比较有代表性的可逆元胞自动机和蝙蝠算法为基础,对二者进行结合、改进,形成新的可逆元胞蝙蝠算法,并应用到配电网故障区段定位中。仿真结果表明,RCA-BA 算法具有运行速度快、准确率高的特点,同时算法具有一定的纠错和抗信息畸变的能力。

1 可逆元胞蝙蝠算法

1.1 可逆元胞自动机

设 φ 为元胞空间中的状态集合, $E = |\varphi|$ 为元胞空间的状态数。 N 为元胞集合的大小,使用 $[0, N]$ 中的整数对元胞进行编码。第 j 个元胞在 t 时刻

的状态用 $Z_j^{t+1} = \varphi(\Upsilon_j^t)$ 表示,元胞自动机的构型用 $*Z^t = Z_0^t Z_1^t \cdots Z_{N-1}^t$ 表示。根据以上规则,可以定义得到元胞状态集在构型空间上的映射,即元胞自动机(图 1)。

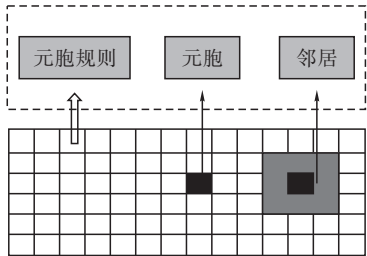


图 1 元胞自动机系统结构图

以方形网格为例划分,邻居的定义形式有 Von-Neumann 型、Morre 型、扩展的 Morre 型以及 Margolus 型,其中 Morre 型和 Margolus 型的模型见图 2。

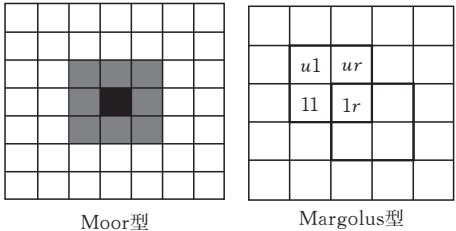


图 2 元胞自动机模型图

将 Morre 和 Margolus 的元胞模型综合后,自动机中不同时刻的元胞邻居之间就会相互影响,后一阶段的元胞邻居有一部分与前一阶段的邻居相

[收稿日期] 2018-05-02

[第一作者] 万英杰(1986-),男,湖北孝感人,工学硕士,湖北工业大学助理工程师,研究方向为电力系统自动化

同,因而具有信息复用性。

初等二维元胞自动机演化规则转换的公式如下^[4]:

$$\mathbf{x}_i^{t+1} = f \begin{bmatrix} x_{i-1}^t & x_i^t & x_{i+1}^t \\ x_{i-1}^t & x_i^t & x_{i+1}^t \\ x_{i-1}^t & x_i^t & x_{i+1}^t \end{bmatrix}$$

170 号元胞自动机的转换规则可简化为

$$\mathbf{x}_i^{t+1} = f \begin{bmatrix} * & * & * \\ * & * & 1-x_i^t \\ * & 1-x_i^t & 1-x_i^t \end{bmatrix}$$

204 号元胞自动机的转换规则可简化为

$$\mathbf{x}_i^{t+1} = f \begin{bmatrix} x_i^t & x_i^t & * \\ x_i^t & * & * \\ * & * & * \end{bmatrix}$$

其中 * 代表任意状态,从公式中可看出 170 号元胞自动机右下角的邻居元胞与 240 号元胞自动机左上角的邻居元胞之间在一定的边界条件下进行周期循环的过程中可以达到完全可逆^[5],这就形成了可逆元胞自动机的运行规则。

1.2 BA 算法改进

基本蝙蝠算法中,蝙蝠的速度为定值,因而容易导致搜索不全和收敛过慢的问题^[6]。为了减少和避免这种情况,需要调整惯性系数使得其与搜索范围成正比比例关系。定义的变惯性系数公式如

$$\omega_i^t = e^{-\frac{25t}{xt-x^*}}$$

ω_i^t 的值与蝙蝠 x_i 与当前最优个体 x^* 之间的位置距离成对数比例关系,即蝙蝠 x_i 距离最优个体 x^* 越远,惯性系数就越大,反之就越小。即大范围搜索时,惯性系数大,使得搜索范围能快速向中心收缩,加速收敛。小范围搜索时则采用较小的惯性系数,降低收缩速度,避免可行解被漏掉。基于这种思想,对蝙蝠算法的速度、频率更新方式进行调整。

1)速度更新调整

基于变惯性系数速度更新公式如

$$v_i^{t+1} = \omega_i^t \cdot v_i^t + (x_i^t - x^*)f_i(t+1)$$

其中, x^* 为种群中低适应度值的最优个体。从式中看出,种群个体在 $t+1$ 时刻的速度同时受到 t 时刻速度、位置、频率以及种群最优个体的影响。蝙蝠 x_i 在向最优个体 x^* 靠近过程中,前期需要快速收缩范围因而需要较大的惯性系数来保持速度,后期随着距离减小,需要降低惯性系数来降低速度,以避免错过最优位置或者徘徊在最优位置附近。

2)频率更新方式调整

同样采用变系数的方式来进行蝙蝠声波频率的调整,调整的方式改进如下:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})/\omega_i^t$$

蝙蝠 x_i 在搜索最优个体 x^* 时,前期距离较远时,需要采用较小频率和较大响度来增强穿透度的效果,以便达到最大范围的搜索,当后期确定最优个体大致范围时,则需要降低响度,提高声波频率来达到精确定位的目的。

3)位置更新方式调整

为了将连续区域中的速度-位置变换关系转移到离散域中进行,对种群中每个蝙蝠速度都赋予一个概率值,概率值的大小取决于蝙蝠位置的改变情况。以该概率值建立蝙蝠速度概率函数,当种群个体位置-速度方向不变而大小逐渐减小的时候,这个概率函数的值也会随着速度的减小而减小,当位置-速度最终减小到 0 的时候,相应的概率值也减小为 0,即当蝙蝠寻找到最优位置后,蝙蝠的速度就不再发生变化,使得蝙蝠固定位于最优蝙蝠所在的位置^[7]。

蝙蝠位置-速度的概率函数

$$S_i^{(k)}(t) = \begin{cases} e^{-5v_i^{(k)}(t)} - 1, & v_i^{(k)}(t) > 0 \\ 1 - e^{-5v_i^{(k)}(t)}, & v_i^{(k)}(t) \leq 0 \end{cases}$$

其中, k 大于 1, i 为蝙蝠个体序号,从而有

$$S(v_i) = (S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, \dots, S_i^{(N)})$$

则最终蝙蝠个体 x_i 位置的调整函数为

$$X_i^{(k)}(t+1) = \begin{cases} -X_i^{(k)}(t), & r \leq S_i^{(k)}(t+1) \\ X_i^{(k)}(t), & r > S_i^{(k)}(t+1) \end{cases}$$

借助上面三个式子,就可以完成从蝙蝠速度到蝙蝠位置进行映射的概率函数,并以此为基础完成通过蝙蝠速度来对蝙蝠位置进行调整的功能。

1.3 RCA-BA 算法

蝙蝠算法在进行搜索的过程中,采用的是一种定向搜索算法,即蝙蝠搜索完一个区域后再对下一个区域搜索的过程中,无法兼顾前面已经搜索过的区域,这就会导致优质的可行解被忽略的情况。另外当蝙蝠搜索到一个可行解后,因无对比可言,使得可行解固定下来,而无法搜索到更优质的可行解。因而可将逆元胞自动机引入与蝙蝠算法结合形成可逆元胞蝙蝠算法。

可逆元胞蝙蝠算法的理论基础就是将蝙蝠拟化为元胞,蝙蝠在整个可逆元胞空间中独立寻优时,也在其邻居寻优。这就使得蝙蝠在进行全局寻优的同时能够兼顾局部寻优,增强寻优能力。此外因为其可逆性,使得蝙蝠在当前元胞及邻居寻优的同时也在上一元胞的部分邻居寻优,增强蝙蝠种群寻优路径的多样性,从而提高种群获得一个甚至多个全局最优解的概率,并且可以尽量避免蝙蝠在寻优的过程中陷入局部最优解而无法达到全局最优解的困境。

2 基于 RCA-BA 的配电网故障区段定位

2.1 模型建立

以某高校的高压配电网为基础,建立模型,其简化的节点系统连接见图 3。

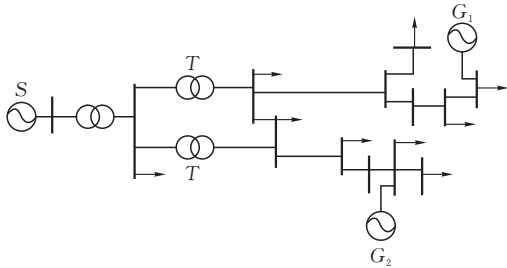


图 3 配电系统节点图

图 3 中的站用变压器以及高压负荷出线点较多,而且线路图中存在环状结构,利用故障诊断算法直接对该系统图进行故障区段定位,运算过于复杂,计算量太大,因而需要对接线图做进一步的简化处理。

首先减少结构图中的负荷点,将变压器简化为线路连接,将自购发电机等效为分布式电源(DG),解开系统连接图中存在的主备供之间形成的环状结构,使得混合连接的系统改变为树枝和链式相结合的结构。此外对分布式电源与线路之间的连接处,设置投入控制开关,通过修改开关的参数可以控制分布式电源的接入或断开。简化完成的仿真模型见图 4。

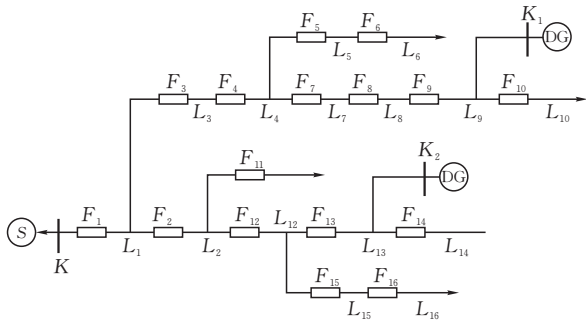


图 4 配电系统仿真模型

图中共有 1 个主电源点,2 个分布式电源点,5 条负荷出线,16 个测量点。

2.2 系统编码和开关函数构造

传统方法采用 1,0 编码方式区分故障电流有无。这种编码方式简单,计算方便,但是却只适用于系统当中只存在一个电源点或同一时间只投入一个主电源或分布式电源的情况,无法描述多电源结构^[8]。

由于本文所用模型当中有多个分布式电源的存在,因而采用不同于传统方法的三元编码形式,即 1

表示该节点上有正向故障电流、-1 表示该节点上有反向故障电流、0 表示该节点无故障电流。

开关函数用于反映采集信息与故障状态间的对应关系,通常开关函数所需要的参数为两个状态:正常 0 以及故障 1。当配电网中存在分布式电源 DG 时,两个状态值无法确切反映电流流向,同时系统中各电源与开关之间的信息匹配将变得复杂。

基于以上分析,定义新的开关函数如

$$I_i^*(j) = [\Pi K_{s1}(1 - \Pi X_{j,s1}(i))] \cdot \Pi X_j(m) - \Pi K_{s2} |1 - \Pi X_{j,s2}(i)| \cdot \Pi X_j(n)$$

公式分为两个部分,第一部分表示主电源产生的故障电流,依据约定总是正方向;第二部分为分布式电源产生的故障电流,因为分布式电源产生的故障电流有两个不同的方向,要进行运算就需要采用统一的形式,因而使用绝对值进行划归。

2.3 适应度函数构造

适应度函数主要用于对算法所取得的最优解情况进行评价,用以衡量表面算法计算故障与实际故障之间的偏离情况^[9]。适应度值为 1 表示计算情况与实际情况不符,适应度值为 0 表示计算情况与实际情况相符,中间值则表示计算情况与实际情况符合程度。

本文采用方均根与系数权值结合的形式来构建适应度函数

$$\text{Fit}(x) = \sum_{i=1}^M \sqrt{(I_i)^2 - (I_i^*)^2} + \lambda \sum_{j=1}^N |x_j|$$

其中: I_i, I_i^* 分别为第 i 个开关处的 FTU 采集的实际值与计算期望值; λ 为正的加权系数,取值范围为 $[0, 1]$; x_j 为与第 j 馈线段有关的故障状态的总和。

借助构建所得的适应度函数值的大小可以反映算法计算所得的故障状态与实际的故障状态值之间的差值或者接近程度^[10]。

2.4 算法流程

可逆元胞蝙蝠算法流程图见图 5。

3 仿真研究

3.1 算法仿真

根据 2.1 所确定的仿真模型,分别设定 L3、L7 和 L12 为故障点,分别对不含 DG 单点故障、多点故障和含 DG 单点故障情况进行仿真,得到的仿真结果见表 1。

采用 BA 算法与 RCA-BA 算法进行对比,多次运行算法得到算法的迭代次数与适应度值之间的关系曲线(图 6)。

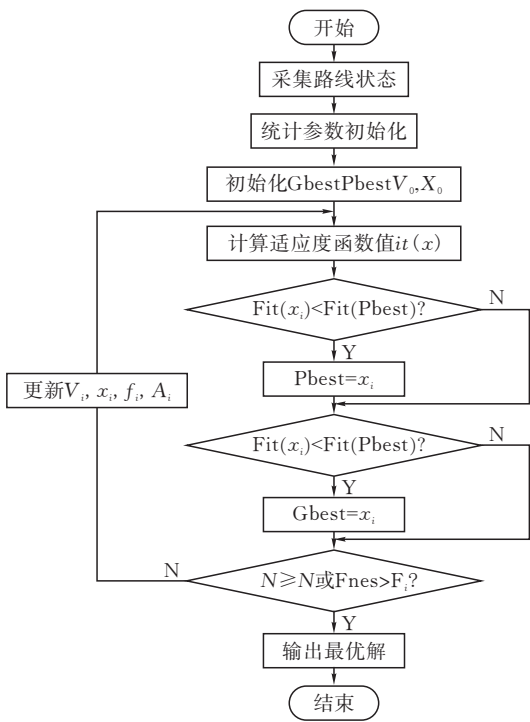


图 5 RCA-BA 算法流程图

表 1 仿真数据结果

开关状态 [K1,K2]	设定故障	RCA-BA 算法诊断结果	BA 算法 诊断结果
[0,0]	L5	L5	L5
	L7	L7	L7
	L12	L12	L12
[0,0]	L5,L12	L5,L12	L5,L12
	L7,L12	L7,L12	L7,L12
[1,0]	L5	L5	L5
	L7	L7	正常
[1,1]	L7,L12	L7,L12	L12

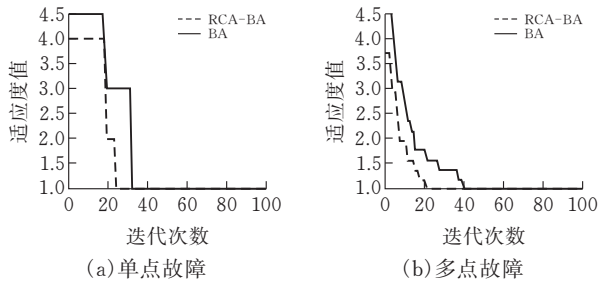


图 6 仿真统计分析图

3.2 结果分析

从图 6a 可以看出,在单点故障的情况下,RCA-BA 算法能够更快收敛,即求解过程中的迭代次数更少。多点故障的情况下,RCA-BA 算法的迭代次数要比 BA 算法更多,即 RCA-BA 算法的收敛速度没有 BA 算法快。结合表 1 中的数据对比就可以看出,多点故障的情况下,RCA-BA 算法具有 BA 算法所达不到的准确度,即在复杂多点故障情况下,BA 算法容易出现诊断结果不全或者误诊断的情况。

4 结论

本文通过对可逆元胞自动机及蝙蝠算法进行研究,将 RCA 与 BA 算法相结合,得到一种新的 RCA-BA 算法。然后对 BA 算法中的位置、速度、声波频率的更新方式以及适应度函数的计算式进行了改进。最后采用湖北某高校的配电系统简化模型为基础分别运用 RCA-BA 和 BA 两种算法进行对比仿真研究。结果表明,RCA-BA 算法比 BA 算法具有更好的灵敏度和准确度,但是,在多电源、多点故障的情况下,BA 算法的收敛速度更快,却容易出现诊断结果错误的情况,这从侧面证明了 RCA-BA 算法的优良性能。

[参 考 文 献]

[1] 马士聪,高厚磊,徐丙垠,等.配电网故障定位技术综述[J].电力系统保护与控制,2009,37(11):119-124.

[2] 郭壮志,徐其兴,洪俊杰,等.配电网故障区段定位的互补约束新模型与算法[J].中国电机工程学报,2016,36(14):3742-3751.

[3] 陈艳丽,周群,滕欢.配电网故障定位容错算法[J].电力系统保护与控制,2011,39(13):91-95.

[4] 平萍,周曜,张宏,等.可逆元胞自动机加密技术研究[J].通信学报,2008(5):26-33.

[5] 张星,张宏,许春根.多层的 T 型可逆元胞自动机加密方法[J].计算机工程与设计,2016,37(4):892-896,906.

[6] 付家才,陆青松.基于蝙蝠算法的配电网故障区间定位[J].电力系统保护与控制,2015,43(16):100-105.

[7] 裴文杰,谭阳红,汪泓,等.蝙蝠算法在含 DG 配电网故障定位中的应用[J].计算机工程与应用,2016,52(22):218-221,237.

[8] 杨君,袁琴,董君,等.基于改进蝙蝠算法对含分布式电源配电网重构研究[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(1):124-131.

[9] 吕石磊,黄永霖,陈海强,等.基于自适应步长的改进蝙蝠算法[J].控制与决策,2018,33(3):557-564.

[10] 李枝勇,马良,张惠珍.0-1 规划问题的元胞蝙蝠算法[J].计算机应用研究,2013,30(10):2903-2906,2935.

(下转第 77 页)