

[控制系统]

一种多变量矩阵进化算法在分布式光伏系统中的应用

文/石家庄科林电气股份有限公司 袁玉宝 陈洪雨 常生强 雷恒亮 杜晓刚 李春海

总结了分布式光伏发电的特点，针对常用优化算法在光伏阵列故障诊断中存在的问题，提出了一种基于多变量矩阵进化算法进行光伏阵列快速诊断的方法。算法通过数据两两比较取相对数据的方式，使参与诊断的数据更加可靠；通过利用矩阵的并行处理、数据直接计算的特点，提高了分析速度；通过合理设计评价函数，提高了容错能力，保证了定位故障的准确性，并较好地解决了多目标解的问题。

近年来随着光伏发电项目的快速发展，基于互联网的分布式光伏发电系统的规模也在不断提升，通常一个光伏电站需要使用大量光伏发电组件来构成数量多、分布广的光伏阵列，如果其中一块光伏板组件发生故障，需要耗费大量人力和时间去定位故障到组件，使故障不能及时排除，从而很难使发电效益最大化。

随着计算机和网络技术的飞速发展，人们开始尝试用智能控制算法来完成光伏系统故障的智能判断和定位，然而一个分布式光伏系统动辄就接入数十万、数百万个家庭电站，每个电站就有几十到几百块的光伏板，每块光伏板大体又有十多个基础数据，那么一个光伏系统就需要对上千万、甚至上亿的数据进行实时分析。如何从这些海量数据中快速挖掘出我们需要关心的数据，并及时通知给业主，从而实现业主的发电效益最大化？目前，还没有一个比较成熟的诊断方法，较为常用的求解优化算法主要有粒子群算法、遗传算法等，但这些常规的优化算法在分布式光伏应用中还存在着一些问题。

分布式光伏中常规优化算法的应用

对于多目标的优化求解算法在各行业中的应用已经非常广泛。目前分布式光伏系统还是一种

新型的监控系统，它的专家诊断系统的建立，还没有一个成熟的方案。建立专家诊断系统的核心就是优化算法的建立，目前比较常用的优化算法主要有粒子群算法、遗传算法等。

粒子群算法是从随机解出发，通过适应度模型对每个解进行评价，根据评价结果进行迭代来不断进化解群，从而找到最优解。采用粒子群算法查找最优解具有一定的随机性，如果评价函数设计得不好，很容易造成局部最优解甚至无解，在分布式光伏中，解的个体对应一个光伏组件，因此，每个解个体是由光伏组件的多个属性组成，为了适应分布式光伏优化求解的需要，评价函数必须设计得非常复杂，才能进行求解，造成算法计算次数、迭代次数较多，算法收敛较慢，耗时较长，并且如果评价函数设计得不合理，还会造成较大的误差。

遗传算法也是从随机初始化的群体出发，以适应度函数为评价依据，通过对群体中的每个解个体不断进行选择、交叉及变异等操作，实现个体之间的信息重组，从而提高个体解的品质，来逐渐逼近最优解。由于遗传算法操作的并不是数据本身，而是待求解变量，所以需要求解变量进行编码，因此，增加了算法的设计难度，并且由于采用随机求解方式，当数据量过大时，迭代次数也

会呈指数级增长,所以算法的收敛速度也较慢。

多变量矩阵进化算法

为解决目前光伏阵列中对故障组件定位不准确、定位耗时长的技术问题,本文提出了一种基于矩阵进化的光伏阵列故障定位方法。其核心是矩阵进化算法,通过对光伏组件数据两两比较,对其相对值进行优化处理,从而转变为线性求解问题,进一步通过评价函数及适应度函数不断迭代,一步步进化,最终求得解集,实现了对多目标故障光伏组件快速而准确的定位。

1. 数据的预处理

在分布式光伏系统中,对光伏组件可采集的数据主要包括输出功率、日照强度、开路电压、短路电流、开路电流及电池板温度等,建档数据包括了投运时间、电池板面积、额定转换效率、额定电压和年损耗率等参数。通过将采集的数据同光伏组件的额定值进行比较判断,可得到该光伏组件的判断值 Y ,若 $Y \leq 50\%$,则可以直接判断该光伏组件故障,不参与后续诊断;对 $Y > 50\%$ 的光伏组件,通过两两比较其判断值 Y ,可得到相对值 M_{ij} ,表示第 i 块光伏组件与第 j 块光伏组件的比较相对值。

2. 求解矩阵的建立

通过数据的预处理,根据相对值 M_{ij} ,可以组建相对值矩阵 M ,有

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ M_{n1} & M_{n2} & \cdots & M_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $i, j = 1, 2, \cdots, n$; n 为诊断光伏组件的总个数。

通过将矩阵 M 中的第 i 行相对值累加,可计算得到第 i 个光伏组件的累计相对值 R_i ,以所有光伏组件的累计相对值组成列矩阵 U ,从而使求解矩阵转变为一个线性求解问题。即

$$U = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdots \\ R_i \\ \cdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $R_i = \sum_{j=1}^n |M_{ij}|$, $i = 1, 2, \cdots, n$; n 为诊断光伏组件的总个数。

若矩阵 U 中最大值与最小值之差小于等于期望误差 K ,则判定矩阵 U 中光伏组件正常;若最大值与最小值之差大于期望误差 K ,则继续进行光伏组

件故障的诊断。期望误差表示系统内光伏组件的最高发电效率同最低发电效率的允许偏差,可根据实际应用进行配置,一般设置为20%~50%之间。

3. 评价函数和适应度函数的建立

根据光伏组件的应用方式,可知道,光伏组件具有正常或异常两种状态,因此,创建了两种评价函数,分别是正常评价函数和异常评价函数,数学表达式为

$$\begin{cases} F_{\text{正常}}(R_i) = \omega \sum_{i \in (R_i < R)} |R_i| + |R_i - R_{\text{正常}}^*| \\ F_{\text{异常}}(R_i) = \omega \sum_{i \in (R_i < R)} |R_i| + |R_i - R_{\text{异常}}^*| \end{cases} \quad (3)$$

式中, $R_{\text{正常}}^* = R_{\text{最大值}} - V_{\text{正常}}$, $R_{\text{异常}}^* = R_{\text{最小值}} + V_{\text{异常}}$ 。

将 $F_{\text{异常}}(R_i) < F_{\text{正常}}(R_i)$ 的 R_i 组建为异常矩阵 S ,暂定为故障光伏组件的个体组合,剩余 R_i 组建为正常矩阵 $(U-S)$,暂定为正常光伏组件的个体组合, R 为 U 中所有累计相对值的平均值, ω 为收敛系数,取值范围为 $0 \leq \omega < 10^{-6}$ 。收敛系数是为了快速收敛而设置,其取值与光伏组件个数相关,如个数较多应尽量设置大一点, $\omega = 0$ 时表示不采用快速收敛的方式。 $R_{\text{正常}}^*$ 表示矩阵 U 期望的正常值, $R_{\text{异常}}^*$ 表示矩阵 U 期望的异常值, $R_{\text{最大值}}$ 、 $R_{\text{最小值}}$ 分别为 U 中的最大累计相对值、最小累计相对值, $V_{\text{正常}}$ 、 $V_{\text{异常}}$ 分别为正常适应值、异常适应值,初始时 $V_{\text{正常}} = 0$, $V_{\text{异常}} = 0$ 。

对应评价函数,进化函数也相应设计了正常适应度函数和异常适应度函数两种,数学表达式为

$$\begin{cases} V_{\text{异常}} = \sum_i |F_{\text{异常}}(R_i)|_{n_s}, & R_i \in S \\ V_{\text{正常}} = \sum_i |F_{\text{正常}}(R_i)|_{n_{u-s}}, & R_i \in (U-S) \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, S 表示异常矩阵; $(U-S)$ 表示正常矩阵; $F_{\text{异常}}(R_i)$ 表示第 i 块光伏组件的异常评价价值; $F_{\text{正常}}(R_i)$ 表示第 i 块光伏组件的正常评价价值; n_s 表示异常矩阵 S 中的对象个数; n_{u-s} 表示正常矩阵 $(U-S)$ 中的对象个数。

2. 具体步骤的说明

1) 建立基本矩阵 M ,将采集到的数据,结合该光伏组件的额定值计算得到该光伏组件的判断值,用于判断该光伏组件的性能,对判断值大于50%的光伏组件,进行两两对比,得相对值,从而组成光伏组件的基本矩阵 M 。

2) 进化矩阵的初始化,将中基本矩阵 M 每行的相对值相加计算得每个光伏组件的累计相对值,从而组成光伏组件的累计相对矩阵 U 。初始异常适应值 $V_{\text{异常}} = 0$,初始正常适应值 $V_{\text{正常}} = 0$,初始迭代次数 $t = 0$,初始期望误差 K 为设定值,初始最大迭代次

(下转第100页)

速准确定位是故障研判重要前提。该应用软件能够快速精确定位任何一个用户配变,并能够在线图形显示该配变所属的分支线路、10 kV主线路、变电站等信息。配网抢修指挥人员能够一目了然地看到故障点所在的位置和区域,通过分析判断,确定最后的抢修地点并制订合理的抢修方案。配网调度人员也可以此作为制订转移负荷方案的重要依据。

2. 经济效益分析

1) 本项目的总投资为<3万元;新增年运行维护费约为0.8万元。

2) 采用本项目节省了设备购置费、节省设备维护及人工费约为63万元。

3) 本项目实施后提高应急抢修的工单处理、信息可靠性约3% (年工单量约38 000 件),减少了不合格工单约1 000 件/年,按每件不合格工单造成0.6万元损失计算,年增加经济效益约60万。

按照年净经济效益=年直接增产节约价值-实施总投资 $\times 0.125$ -新增年运行维护等费用,有

$$\text{年净经济效益} = (60 + 63) - 3 \times 0.125 - 0.8 = 121.825 \text{ 万元}$$

3. 应用价值分析

1) 本系统是现场工作人员利用化计算技术自主研究设计和开发的软件,在很大程度上提高了工作效率,但没有增加任何设备的资金投入。

2) 本系统具有小巧、灵活、操作性和实用性强的特点,能够在短时间内提升配电网的运维管理水平,减轻工作人员的工作压力,提升工作效率,具有较高的应用推广价值。

3) 通过本系统能够快速地将故障范围精确定位到用户位置,便于应急抢修指挥人员快速确定用户停电范围和配网调度人员进行故障分析和故障研判,快速制定应急抢修方案和对重要负荷的转移转供。

4) 本系统属于独立开发、独立运行的应用程序,不依赖于营销系统,简单实用且具有二次开发和后续升级的空间,具有很好的软件开发前景和推广价值。

改进方向

1) 完善数据批量管理功能。对升级改造的设备数据,能进行批量导入导出,节省工作人员对数据库维护的工作量。

2) 实现电子化图样的在线编辑修改和存储。能够在线编辑校对变动的线路图样,并能完成修改后的存储。

3) 实现配网电子单线图与地理位置图叠加(拓扑图),使故障定位更加完善。

结束语

本系统研发完成后,在地区调控中心配网抢修指挥班进行了试运行,配网抢修指挥人员结合该软件的使用进行故障研判、故障抢修工单的派发、生产类停电信息的录入和报送等日常工作,大幅提高了故障应急抢修指挥工作的准确率和及时率。目前,该软件的使用已固定在配网抢修指挥业务的工作流程中。EA

(收稿日期: 2015.07.03)

(编辑: 杨得润)

(上接第97页)

数 T =光伏组件个数,初始异常矩阵 S 为空。

3) 计算进化矩阵 U 的平均值,计算矩阵 U 中低于平均值的所有项的累计值,计算进化矩阵 U 的正常期望值 $R_{\text{正常}}^*$,计算进化矩阵 U 的异常期望值 $R_{\text{异常}}^*$,若 U 中 $R_{\text{正常}}^*$ 与 $R_{\text{异常}}^*$ 之差小于等于期望误差 K ,则判定异常矩阵 S 中所对应的光伏组件为异常组件,运算结束;若 $R_{\text{正常}}^*$ 与 $R_{\text{异常}}^*$ 之差大于期望误差 K ,则进行步骤。

4) 利用评价函数计算进化矩阵 U 中每一项的正常评价值和异常评价值,将矩阵 U 中异常评价值小于正常评价值的矩阵项重新组建为异常矩阵 S ,剩余项组建为正常矩阵 $(U-S)$,异常矩阵 S 入库利用进化函数,重新计算正常适应值 $V_{\text{正常}}$ 和异常适应值 $V_{\text{异常}}$ 。

5) 当前迭代次数 $t+1$,当迭代次数 $>T$,异常

矩阵 S 中所对应的光伏组件为异常组件,运算结束。当迭代 $t+1$ 次后的异常矩阵 S 与迭代 t 次后的异常矩阵 S 相同时,异常矩阵 S 中所对应的光伏组件为异常组件,运算结束。否则,去掉进化矩阵 U 中最大异常评价值所对应的项,重新组成进化矩阵,返回至步骤(3)进行计算。

结束语

通过对3万个光伏组件进行仿真,在模拟了多个光伏组件同时故障的情况下,求解结果完全正确,求解速度对比标准优化算法有了明显提高,表明了该模型的有效性。EA

(收稿日期: 2015.08.14)

(编辑: 杨得润)