

基于麻雀搜索算法的电力系统稳定器参数优化

侯亮¹, 韩曙¹, 孟焕焕²

(1. 青岛黄海学院, 山东省青岛市, 266400;

2. 山东德丰工程设计有限公司青岛分公司, 山东省青岛市, 266400)

摘要 为更好抑制多机电力系统的低频振荡, 采用麻雀搜索算法对电力系统稳定器参数整定。首先以误差积分准则为目标函数, 利用算法寻找最优参数, 通过再MATLAB中搭建单机无穷大模型, 将优化后的参数应用到模型中验证并测试其效果。仿真证明, 相对于灰狼算法和鲸鱼算法有着更好的效果。

关键词 麻雀搜索算法; 电力系统稳定器; 超前滞后控制器; 仿真模型

中图分类号: TP183 文献标识码: B

文章编号: 1008-0899(2025)04-0017-03

电力系统稳定器(Power System Stabilizer, PSS)作为提高电力系统稳定运行的装置, 具有结构简单、经济、灵活等优点, 且可以为系统提供正阻尼, 从而提高系统的稳定性。PSS参数的合理设计对改善电力系统的稳定性起到重要作用, 成为了诸多学者研究的热点问题。

PSS的位置和参数是设置PSS的两个难点, 目前PSS的位置选择的理论研究已经逐步完善^[1]。针对参数优化问题, 国内外学者进行了大量研究, 主要包括线性法、非线性法、整体规划法和智能优化算法等^[2]。智能优化算法同其他方法相比可以减少对于初始值的依赖, 在全局最优中找到最优解^[3]。传统的全局优化算法有遗传算法、模拟退火算法、粒子群优化算法等^[4-5]。

首先, 本文采用单目标优化的方法, 定义优化目标函数为在两个不同的误差积分准则下的优化结果为目标函数, 建立约束条件下的单机-无穷大系统模型; 然后, 利用麻雀搜索(Sparrow Search Algorithm, SSA)算法对超前滞后控制器(Lead-Lag PSS)参数进行求解, 根据IAE和IATE两种不同评价函数得到对应Lead-Lag PSS三个参数; 最后, 经过验证得出优化后结果使的Lead-Lag PSS模型超调

量和调节时间更小。

1 模型描述

1.1 电力系统模型

为了更好地完成系统的稳定性测试, 采用经过简化后的无限总线的单机(SMIB)模型。对单机无穷大系统模型进行一系列简化处理如图1所示。

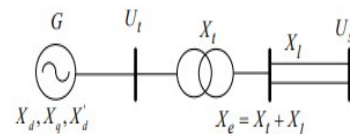


图1 单机无穷大系统模型

对于SMIB系统的线性数学模型表示如下

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (1)$$

$$y = C \Delta x \quad (2)$$

其中, 上式中A为系统矩阵、B为输入矩阵和C为测量矩阵。

1.2 Lead-Lag PSS模型

传统模型Lead-Lag PSS具有参数可调、结构简单等优势, 本文以Lead-Lag PSS模型研究PSS的参数优化。Lead-Lag PSS的需要优化的三个参数为增益模块参数 K_{PSS} 和时间常数为 T_1 和 T_2 , 其的传递函数如式3所示:

$$U(s) = K_{PSS} \left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2} \right) \Delta \omega(s) \quad (3)$$

本文所述基于Lead-Lag PSS的单机无穷大系统模型搭建的Simulink模型。

1.3 目标函数

误差积分准则作为一个评价系统优良的重要

作者简介: 侯亮(1983~), 男, 汉族, 山东泰安人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 电力系统及其自动化、分布式发电及微电网。

指标,以IAE、IATE这两种常用的误差积分准则为SSA算法的适应度函数,获得最优的Lead-Lag PSS参数,减少振荡超调量,缩短调节时间,提高系统稳定性。其中IAE和IATE的表达式如下:

$$IAE = \int_0^{t_s} |e(t)| dt \quad (4)$$

$$IATE = \int_0^{t_s} t \times |e(t)| dt \quad (5)$$

其中, $e(t)$ 表示偏差, t_s 为仿真时间

设置Lead-Lag PSS中 K_{PSS} 、 T_1 和 T_2 的上下限如式6所示:

$$\begin{cases} 0.001 \leq K_{PSS} \leq 15 \\ 0.001 \leq T_1 \leq 10 \\ 0.001 \leq T_2 \leq 10 \end{cases} \quad (6)$$

2 SSA算法描述

麻雀搜索算法(SSA)是依据麻雀的觅食行为和逃避捕食者行为,在2020年由Xue和Shen提出所提出的一种新型的群体优化算法^[6]。麻雀搜索算法的仿生学原理可以将其概括成为发现者-跟随者的数学模型,并在这个基础上添加了侦察预警机制。在这个模型当中能量的大小表示适应度值大小,在麻雀觅食的过程中,在整个群体的承担着为其他麻雀寻找觅食区域和飞行方向的麻雀被称为发现者,发现者通常有着比其他麻雀储存着更高的能量,为它们寻找到食物资源丰富的区域。

SSA算法基本原理,在麻雀搜索算法中,通过模拟麻雀觅食过程来寻找最优解,每一只麻雀的位置对应着一个解。在维度D的搜索空间中,有n只麻雀组成的群体可由式7表示:

$$X_i = [x_{i1}, \dots, x_{id}, \dots, x_{iD}] \quad (7)$$

其中 x_{id} 表示第i只麻雀所在位置, $i=1, 2, \dots, N$

在麻雀搜索算法中,发现者作为其他麻雀的引导者,有着比其他麻雀更大的搜索范围,且发现者的适应度大,可以更早的在食物丰富的区域先获得新的资源,并通过记忆来更新不断更新自己的位置。在搜索过程中,发现者更新位置的公式为:

$$X_{id}^{t+1} = \begin{cases} X_{id}^{t+1} \cdot \exp\left(\frac{-i}{\alpha \cdot M}\right) & R < ST \\ X_{id}^t + QL & R \geq ST \end{cases} \quad (8)$$

其中 t 为当前的迭代次数;L为 $1 \times d$ 的矩阵,矩阵中全部元素为1;Q为标准正态分布的随机生成的数;M为最大迭代次数; α 为[0, 1]的随机生成数;R

和ST分别为[0, 1]和[0.5, 1]内的随机生成的数,其中R代表了预警值,ST代表了安全值。当预警值R小于安全值ST时,表示当前环境安全,没有捕食者和其他危险元素的存在,此时发现者的搜索范围可以扩大,以寻找到更好的适应度值;当预警值R大于或等于安全值ST时,侦察者发现危险存在,并发出警报,群体采用反捕食策略,逃离此区域,并迅速飞向安全区域。

通过式8可以看出,其发现者位置更新方式分为两种,第一是趋向于最优位置,第二是趋向于原点。这样的更新方式会使麻雀搜索算法更容易陷入局部最优。在发现者更新公式中,当预警值R小于安全值ST时,发现者的每一维都在减小,发现者的搜索能力变差,因此改进发现者的更新公式为:

$$X_{id}^{t+1} = \begin{cases} X_{id}^t \cdot (1+Q)L & R < ST \\ X_{id}^t + QL & R \geq ST \end{cases} \quad (9)$$

群体中除了发现者之外,其余全部为跟随者。部分跟随者会监视发现者,当发现者找到更好位置时,它们会马上离开此时位置与发现者争夺,如果跟随者赢了,则获得此时位置;反之,则会重新进行这一操作。跟随者更新位置的公式为:

$$X_{ij}^{t+1} = \begin{cases} Q \cdot \exp\left(\frac{X_{wj}^t - X_{ij}^t}{t^2}\right) & i > \frac{n}{2} \\ X_{ij}^{t+1} + \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D (rand\{1,-1\} \cdot |X_{ij}^t - X_{dj}^{t+1}|) & i \leq \frac{n}{2} \end{cases} \quad (10)$$

其中 X_w^t 为当前迭代下最差位置, X_{bj}^{t+1} 为当前迭代下最优位置。 $i > n/2$ 时,表示第i只跟随者的适应度值低,需要前往位置更远的位置觅食;反之,表示第i只跟随者可以在当前最优位置附近觅食。

一般情况下将群体数量的10~20%设置为可以意识到危险因素的侦察者,跟随者更新位置的公式为:

$$X_{ij}^{t+1} = \begin{cases} X_{ij}^t + \beta \cdot |X_{ij}^t - X_{wj}^t| & f_i \neq f_g \\ X_{ij}^t + K \frac{|X_{ij}^t - X_{wj}^t|}{(f_i - f_w) + \varepsilon} & f_i = f_g \end{cases} \quad (11)$$

其中控制步长参数 β 为标准分布的随机数。 ε 为一个极小常数,防止其差值为零。K为[-1, 1]内的随机数,不仅是控制补偿参数还表示麻雀移动的方向。 f_i 为第i只麻雀的适应度值, f_g 和 f_w 分别是当前群体中的适应度最优值和最差值。当

$f_i \neq f_g$ 时,表示麻雀正在位于整个群体的边缘位置,容易被捕食者攻击;当 $f_i = f_g$ 时,表示此时麻雀正位于整个群体的中央位置,虽然此时远离边缘位置,被捕食者攻击的可能性小,但察觉到被捕食的风险,通过贴近其他麻雀,改变自身的位置,从而达到减少被捕食的目的。基本麻雀搜索算法:

步骤一:初始化麻雀种群相关参数,包括种群数量为N,pN为发现者者,sN为侦察者,D目标函数维数,初始值限制范围为[lb,ub],迭代最大次数为T,求解精度 σ 。

步骤二:将适应度值 f_i 按大小排序,从中分别选出最优值 f_g 和最差值 f_w ,记录对应位置 X_g^{t+1} 和 X_w^t 。

步骤三:根据适应度值的大小选取适应度最小的pN只麻雀作为发现者,其余作为跟随者,根据式9和10更新其位置。

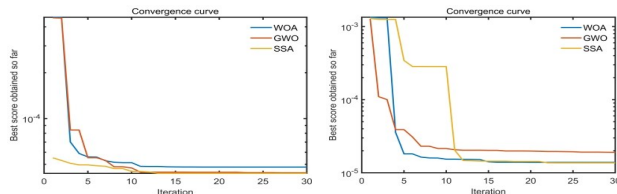
步骤四:随机选取sN只麻雀作为侦察者,根据式11更新其位置。

步骤五:更新计算每只麻雀适应度值,获得当前最优值,若现在的适应度值比上一次迭代要好,则改变其位置;反之,则不改变其位置。

步骤六:判断适应度值是否满足精度要求或者是否达到最大迭代次数,如果满足则退出循环,并返回最优值;反之则重复步骤二到步骤五。

3 仿真分析

利用SSA、GWO、WOA三种算法对于PSS参数进行优化,设置初始化参数:种群数量N=30,最大迭代次数为200,目标函数维数D=3,初始值限制范围为[0.01,5]。得到三种智能优化算法针对两种不同适应度函数的优化曲线如图2和3所示。



(a) IAE适应度曲线 (b) IATE适应度曲线

图3 适应度曲线图

通过图2和图3可知,三种优化算法对两种适应度函数的优化,都可很快的收敛找到最优值,但SSA算法的收敛速度和最终值的精度大小都比GWO算

法和WOA算法要好,表明SSA算法在相同约束条件下可以得到更好的值。

采用SSA算法对PPS参数优化的仿真结果如表1所示。

表1 PPS参数优化结果

Lead-Lag PSS	KPSS	T1	T2
IAE	7.935	0.762	0.001
IATE	1.638	3.582	0.001

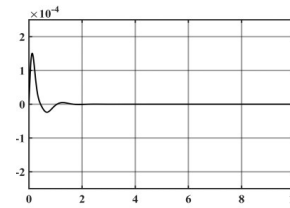


图4 IAE下的转速

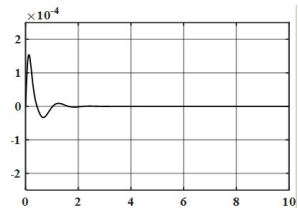


图5 IATE下的转速

上图为基于Lead-Lag PSS使用IAE和IATE得到的误差,可以看出基于SSA算法优化Lead-Lag PSS参数能够最有效地减少调节时间和超调量。

4 结论

综上所述,以IAE和IATE为目标函数,衡量误差信号值,采用SSA算法进行Lead-Lag PSS的三个参数优化,通过三种智能优化算法进行对比实验,可以得出SSA算法优于其他两种算法。优化设计Lead-Lag PSS参数后,明显减少调节时间和超调量,展现了用SSA算法优化设计Lead-Lag PSS的良好效果。

参考文献

- [1] 杜文娟,王海风.电力系统低频功率振荡模式分析理论与方法[M].北京:科学出版社,2017.
- [2] 郝思鹏.低频振荡综述[J].南京工程学院(自然科学版),2003,1(1):1-8.
- [3] 方思立,朱方.电力系统稳定器(PSS)在世界各地的使用情况[J].电网技术,1994,18(2):15-19
- [4] 张程,邱炳林,刘佳静,等.基于社会学习的粒子群优化算法的电力系统稳定器参数协调优化设计[J].电工电能新技术,2022,41(04):24-33.
- [5] 章泽生,陈刚.PSS2B型电力系统稳定器高增益参数整定分析[J].云南水力发电,2022,38(08):259-266.
- [6] Xue J K, Shen B. A novel swarm intelligence optimization approach: sparrow search algorithm[J]. Systems Science & Control Engineering,2020,8(01):22-34.