

基于人工鱼群和粒子群混合算法的配电网重构

高 博¹, 韩 冬², 张国志³, 韩学军¹

(1. 东北电力大学 电气工程学院, 吉林 吉林 132012; 2. 吉林供电公司, 吉林 吉林 132011; 3. 双阳区农电有限公司, 长春 130600)

摘 要: 配电网重构是优化配电系统运行的重要手段, 提出人工鱼群和粒子群混合优化算法, 该算法综合利用人工鱼群算法的良好全局收敛性和粒子群算法的局部快速收敛性、易实现性等优点, 克服人工鱼群算法收敛速度慢及粒子群算法后期全局收敛差的缺点, 发挥了两者的优越性, 并成功应用于配电网重构; 最后通过对 IEEE33 节点系统算例的仿真, 取得了较好的效果, 证明了该混合算法的有效性和可行性。

关 键 词: 配电网; 人工鱼群; 粒子群

中图分类号: TM 726 文献标识码: A

配电网网络重构是配电网结构优化的一个有效手段。它主要通过切换联络开关和分段开关的开合状态来改变网络拓扑结构, 以在馈线或者变电站之间转移负荷, 改变网络中的潮流流动。在正常运行条件下, 根据运行情况进行开关操作以调整网络结构, 消除过载提高供电质量, 降低网损, 提高系统经济性。在发生故障时, 隔离故障、转移负载, 缩小停电影响, 并可以在故障后快速恢复供电^[2-5]。所以说配电网网络重构是提高配电系统安全性和经济性的重要且有效的手段。

配电网重构是在保证配电网呈现辐射状结构, 满足馈线热容、节点压降和变压器容量等条件的前提下, 使得配电网某一指标或者多重指标达到最佳运行方式的网络构成方法^[1]。由于配电网结构复杂, 存在着大量的分段开关和联络开关, 因此配电网重构是一个复杂的多目标高维数非线性混合优化问题。

当前常用的配电网重构方式主要有解析类方法、启发式方法、人工智能化方法、随机优化方法^[7]。

本文讨论的就是结合人工鱼群和粒子群算法两者的优点, 避开两者的不足, 采用其组合分析方式对配电网重构问题进行研究, 以期能取得比较好的全局最优解, 同时也能够大幅提高算法的运算速度, 达到理想的分析效果。

1 配电网重构的问题描述及数学模型

配电网网络重构目标一般为最小化配电网线损、平衡系统负载、提高系统供电可靠性、提高系统电压水平、提高电压稳定性等中的一个目标或者多个目标组合。本文主要以配电网网损最小为目标函数进行讨论^[3-7]。

最小化配电网网损, 配电网重构中考虑的网损一般指线路上导线的损耗, 对于变压器等损耗可以忽略, 目标函数可以表示为:

$$\min load = \sum_{i=1}^{N_i} R_i (P_i^2 + Q_i^2) / U_i^2, \quad (1)$$

式中 N_i 为网络中的支路数; R_i , P_i , Q_i , U_i 分别为第 i 条支路的电阻、有功功率、无功功率、支路电压。

配电网重构的约束条件有:

收稿日期: 2012-09-14

作者简介: 高 博(1987-), 男, 吉林省通化市人, 东北电力大学电气工程学院在读硕士研究生, 主要研究方向: 电网工程。

(1) 网络拓扑约束

$$g_k \in G, \quad (2)$$

式中, G 为所有可行拓扑结构的集合。

(2) 容量约束

$$s_i \leq s_{imax}, \quad (3)$$

式中: s_{imax} 为支路 i 或配电器 i 的负载能力。

(3) 节点电压约束

$$U_{imin} \leq U \leq u_{imax}. \quad (4)$$

(4) 潮流约束, 即网络重构必须满足潮流方程。

2 基于人工鱼群和粒子群混合算法的配电网重构

2.1 人工鱼群算法

人工鱼群算法是一类群智能的随机优化算法, 它的全局搜索能力良好, 且有对初值、参数选择不敏感、鲁棒性强、简单、易操作等优点。其数学模型描述如下: 假设在一个 n 维的目标搜索空间中, 有 N 条组成一群体的人工鱼, 每条人工鱼的状态可表示为向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其中 $x_i (i = 1, \dots, n)$ 为欲寻优的变量; 人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为 $Y = f(X)$, 其中 Y 为目标函数; 人工鱼个体之间的距离表示为 $d_{ij} = \|X_i - X_j\|$; Visual 表示人工机鱼的感知范围, step 为人工鱼移动的步长, δ 为拥挤度因子; trynumber 表示人工鱼每次觅食最大的试探次数。

2.1.1 行为描述

在每次迭代过程中, 人工鱼通过觅食、聚群和追尾等行为来自我更新, 从而实现寻优, 具体行为描述如下:

(1) 随机行为: 人工鱼在其视野内随机移动, 当发现食物时, 向食物逐渐增多的方向迅速移动。

(2) 觅食行为: 鱼朝着食物多的方向游动的 1 种行为, 人工鱼 X_i 在其视野内随机选择 1 个状态 X_j , 分别计算并比较它们的目标函数, 如果发现 Y_j 比 Y_i 优, 则 X_i 向 X_j 的方向移动 1 步; 否则 X_i 继续随机移动选择状态 X_j , 判断有无满足前进的条件, 反复尝试 trynumber 次之后, 仍没有满足前进的条件, 则随机移动 1 步而进入另 1 个新的状态。

(3) 聚群行为: 设当前人工鱼的状态为 X_i , 以探索范围 $d_{ij} < \text{Visual}$ 的邻域内, 该邻域内鱼群的中心位置为 X_c 并且有伙伴数目 n_f , 如果 $Y_c/n_f > \delta Y_i$, 则说明邻域内鱼群中心食物浓度比较高, 并且不是十分拥挤, 则向着鱼群的中心位置方向前进一步; 否则执行觅食行为。

(4) 追尾行为: 设当前人工鱼的状态为 X_i , 以探索范围 $d_{ij} < \text{Visual}$ 的邻域内的食物浓度 Y_j 最大时, 此时对应的人工鱼状态为 X_j , 若有 $Y_c/n_f > \delta Y_i$, 则说明该邻域内鱼群中心食物浓度比较高, 并且不是十分拥挤; 则向着伙伴 X_j 的方向迈进一步; 若不满足 $Y_c/n_f > \delta Y_i$, 执行觅食行为。

(5) 公告板: 记录最优人工鱼个体状态的地方。每条人工鱼每完成 1 次迭代后, 将自身状态与公告板中记录的比较, 如果优于则用自身状态更新公告板中的状态, 否则, 公告板不变。当整个算法的迭代结束后, 输出公告板的值, 即为所求的最优值。

2.1.2 行为选择

每条人工鱼根据所要解决的性质问题, 对当前的环境评价, 而选择 1 种合适的行为。如求最大值, 最简单的就是先模拟聚群、追尾等行为, 然后评价行动后的值, 选择其中的最大者, 缺省的行为方式为觅食行为。最终, 大量人工鱼会聚集在几个局部极值的周围, 以便获取全局极值域, 而值较优的极值区域周围一般会聚集大量的人工鱼, 这有助于获取全局极值, 从而达到寻优的目的。

2.2 粒子群算法

基本粒子群算法其主要根据下面 2 个公式进行演化计算^[6, 8]:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (p_g(t) - x_i(t)), \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad (6)$$

其中: $v_i(t)$ 为粒子 i 于 t 时刻的飞行速度, $x_i(t)$ 为粒子 i 当前的位置, $p_i(t)$ 为粒子 i 所经过的最好位置, $p_g(t)$ 为所有 i 粒子经历过的最好位置, 相应的适应值为全局历史最好适应值 F_g 。 c_1 和 c_2 为加速系数, r_1 和 r_2 是 2 个在 $[0, 1]$ 范围内变化的随机数。

上式第 1 部分为“认知”部分, 表示粒子本身的思考, 即粒子本身的信息对自己下一步行为的影响; 第 2 部分为“社会”部分, 表示粒子间的信息共享和合作, 即群体对粒子下一行为的影响。为了提高粒子的有效性, 搜索时, 粒子的位置受最大位置和最小位置所限制, 如果粒子在某维的位置超出该维的最大位置或最小位置, 则该粒子的位置被限制为该维的最大位置或最小位置。同样, 粒子的速度也受最大速度和最小速度所限制。

2.3 粒子群和人工鱼群混合算法

粒子群算法中各微粒可根据自身经历的最好位置与群体的最好位置, 动态地调整好当前的速度和位置, 从而获得较快的收敛速度。然而, 在算法后期, 由于粒子的同一化, 算法容易陷入局部最优。人工鱼群算法是 1 种较好的全局优化方法, 但收敛速度较慢, 若将 2 种算法结合起来, 利用粒子群算法的快速局部搜索和人工鱼群的全局收敛性, 使新算法不仅具有快速的局部搜索速度, 而且保证具有全局收敛性能的 1 种性能较优的优化算法^[4]。

粒子群和人工鱼群混合算法的流程图如图 1 所示。

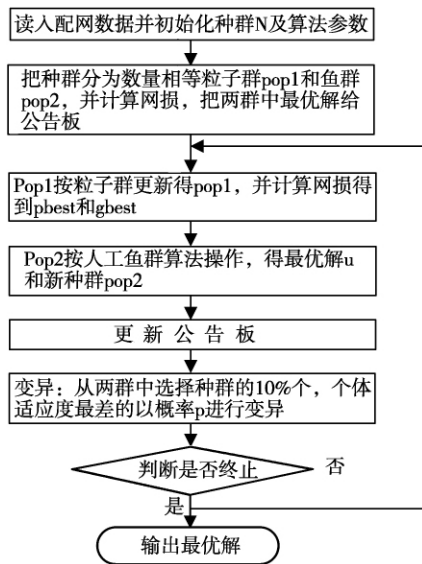


图 1 人工鱼群和粒子群混合算法的流程图

3 配电网重构算例

本算例采用 IEEE 标准算例 33 节点系统, 单电源的配电系统, 其原始网络如图 1 所示。图中实线为运行支路, 虚线为联络支路。网络参数和节点负荷可以从相关资料获得。

算例中的有关参数设置为个体总数 $m = 50$, 人工鱼的感知范围 $Visual = 2.5$, 步长 $Step = 4$, 拥挤度因子 $\delta = 0.618$, 粒子群的加速度参数 c_1 和 c_2 分别取 2。配电网重构后和重构前的数据如表 1 所示, 经过重构后的结构图如图 3 所示以及算法的迭代曲线如图 4 所示。

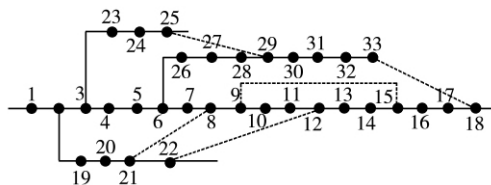


图 2 IEEE 标准算例 33 节点系统

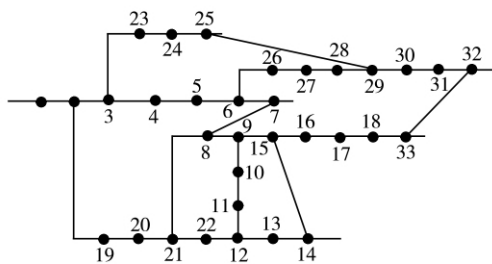


图 3 33 节点系统网络重构图

表 1 配电网重构优化结果

	重构前	重构后
网络开关	25—29	7—8
	33—18	9—10
	9—15	15—14
	8—21	25—29
	22—12	32—33
功率损耗/kw	203.5526	139.9564
最低节点电/pu	0.91277	0.93778

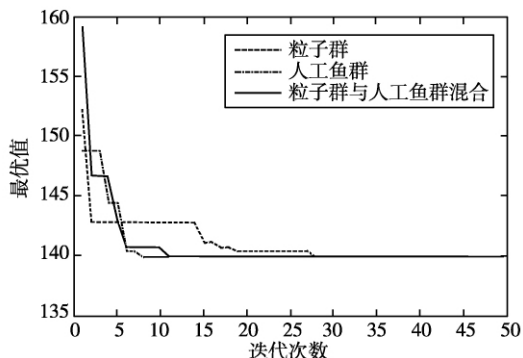


图 4 AFSA 和 PSO 及其混合算法的迭代曲线

从图4可以看到,算法进程中目标函数变化曲线图,可以发现混合算法的平均迭代次数是11次,而基本粒子群在27次上才得到了最优解,人工鱼群虽然平均迭代次数9次,略低于混合算法,但是其计算所用的时间远远大于混合算法的计算时间;从表1可见,通过重构优化,该网络有功损耗降低了31.24%,网络最低点的电压从0.91277 P.u 提高到0.93778 P.u,可见重构不仅有效的降低了网络有功损耗,同时也提高了网络最低电压,提高了供电的电压质量。

4 结 论

配电网重构是优化配电系统运行的重要手段,是配电网自动化研究的重要内容。由于配电网重构问题属于大规模、混合整型、非线性组合优化问题,所以找到合适的算法进行最优化求解至关重要。本文运用人工鱼群和粒子群混合算法进行重构求解,通过实例验证,证明该方法确实可靠有效,能够很好地保证得到全局最优解。

参 考 文 献

- [1] 刘健,毕鹏翔,杨文字,程红丽. 配电网理论及应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [2] 刘柏私,谢开贵,周家启. 配电网重构的动态规划算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(9): 29-34.
- [3] 李振坤,陈星莺,余昆,等. 配电网重构的混合粒子群算法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(31): 35-41.
- [4] 罗德相,周永权,黄华娟. 粒子群和人工鱼群优化算法[J]. 计算机与应用化学, 2009(26): 1257-1261.
- [5] Civanlar S, Grainger J J, Yin H et al. Distribution feeder reconfiguration for loss reduction[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 3(3): 1127-1223.
- [6] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[C] // Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks, 1995, 4: 1942-1948.
- [7] 史林雳. 基于模拟退火改进蚁群算法的配电网重构[J]. 电气工程与自动化, 2010(36): 104-106.
- [8] 靳晓凌,赵建国. 基于改进二进制粒子群优化算法的负荷均衡化配电网重构[J]. 电网技术, 2005, 29(23): 40-43.

Based on Artificial Fish and Hybrid Algorithm for Distribution Network Reconfiguration

GAO Bo¹, HAN Dong², ZHANG Guo-zhi³, HAN Xue-jun¹

(1. Electrical Engineering College, Northeast Dianli University, Jilin Jilin 132012; Jilin Electric Power Bureau, Jilin Jilin 132011; Shuangyangqu Rural Power Company Limited, Changchun 130600)

Abstract: Optimization of distribution network reconfiguration is an important means of distribution system operation. In this paper, artificial fish and particle swarm hybrid optimization algorithm is a good utilization of artificial fish school algorithm global convergence and local PSO fast convergence and easy implementation of the advantages and overcome the slow convergence of artificial fish and Global convergence PSO shortcomings of poor post-play the advantages of both, and successfully applied to distribution network reconfiguration; Finally, an example of the IEEE33 bus system simulation, and achieved good results, show that the hybrid algorithm The effectiveness and feasibility.

Key words: Distribution system; Artificial fish; Particle swarm