

基于小生境渔夫捕鱼算法的变电站规划

王泽黎

(华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 针对渔夫捕鱼算法容易陷入局部最优的不足, 提出了一种共享适应度的小生境策略来提高基本渔夫捕鱼算法的全局寻优能力, 并应用于解决配电网变电站规划。由个体之间相互距离进行聚类组成小生境种群, 并在生成的不同小生境种群内运用渔夫捕鱼算法进行寻优, 在进行目标函数计境种群内利用共享机制改变个体适应度进一步提高群体全局寻优能力。通过实际算例分析, 证明了所提方法能较好地解决变电站选址定容问题。

关键词: 渔夫捕鱼算法; 变电站选址定容; 小生境; 目标函数

Optimal substation planning based on niche fisher fishing algorithm

WANG Ze-li

(School of Electrical and Electronics Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In view of the shortage of the fisher fishing algorithm easily falling into local optimum, a niche fisher fishing algorithm is proposed to improve the global optimization capability of basic fisher fishing algorithm, and applied to solve distribution network substation planning problem. This paper composes niche groups according to the distance between the various entities on the basis of the basic fisher fishing algorithm, and conducts the optimization by using fisher fishing algorithm in niche groups. For the updated groups, according to the distance between the individuals, the shared mechanism is used to change their fitness, and to improve the global search ability of the entire group. Through the calculation and analysis of the given test case, the results show a high convergence success rate and better solution of this algorithm for the substation locating and sizing issues.

Key words: fisher fishing algorithm; substation locating and sizing; niche; objective function

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)16-0084-05

0 引言

配电网变电站规划方案的好坏不仅影响中压配电网馈线的布局, 还影响着供电安全和运行的经济性, 进而进一步影响电网建设的经济性和供电可靠性。我国上世纪七八十年代电力企业在进行变电站站址选择及主变容量确定时, 通常是依靠部分规划、运行人员经验确定站址和容量, 基本不能保证其方案的最优性, 并且对确定的方案缺乏有效的计算和评估手段。在 21 世纪初, 我国电网规划水平有了较大提升, 规划人员一般结合自己的经验确定方案后, 通过对方案的主要指标进行计算, 初步获得规划方案的评估情况。进入 21 世纪以来, 随着我国经济的快速发展, 我国城市建设速度突飞猛进, 伴随土地价格的大幅攀升, 用于变电站选址的地块越来越少, 电网建设困难越来越大, 制约了电网的发展。因此, 急迫要求能够考虑土地、环境、电力

建设等多因素的协调规划方法辅助电力规划人员确定变电站的站址及容量。随着科技进步, 配电网变电站规划由 20 世纪 70 年代的单纯手工规划, 发展到 90 年代不考虑地理因素的半手工、半自动规划, 直到目前的考虑地理、环境、电力投资等多因素自动规划^[1-8]。不仅规划模型上更全面、科学, 所采用算法也越来越多地采用了遗传、粒子群等现代智能优化算法^[9-14]。

渔夫捕鱼算法基本思想来源于渔夫捕鱼的行为习惯, 通过对此行为习惯进行建模而提出的一种搜索方法^[15]。其核心部分为: 以选定个体中心构造方体, 个体根据自己的环境独立进行移动和收缩, 最终找到全局最优解。渔夫捕鱼算法根据其特定的搜索机制和策略, 目前已经被部分学者关注, 并开始应用于工程的部分领域中^[16]。

本文将渔夫捕鱼算法应用于解决配电网变电站规划。在渔夫捕鱼算法基础上, 采用小生境技术,

由个体互相之间的位置进行聚类确定小生境种群，不同小生境种群采用渔夫捕鱼寻优机制，进一步提高算法的全局寻优能力，为配电网变电站规划提供一个新方法。

1 小生境渔夫捕鱼算法

1.1 基本渔夫捕鱼算法

渔夫捕鱼算法 (Fisher Fishing Algorithm, FFA) 是模仿渔夫捕鱼的行为习惯而提出的一种寻优方法。其一般过程为：设在有限闭区间及搜索域 Ω 中，随机分布 k 个渔夫，假设第 i 个渔夫初始撒网位置为 $X^i = (x_1^i, x_2^i, x_3^i, \dots, x_n^i)$, $i=1,2,\dots,k$ 。同时 i 渔夫在初始撒网位置 X^i 的邻域内根据变量变化方向再各撒一次网，得到其撒网点集为

$$\Omega^{(i)} = (y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, \dots, y_n^{(i)}) \quad (1)$$

其中

$$y_j^{(i)} \in [x_j^{(i)} - l, x_j^{(i)} + l], j=1, \dots, n \quad (2)$$

(1) 移动策略

如果渔夫 i 当前点 X^i 的邻域集合中最大值为 $f(X_{\text{new}}^i)$ ，那么渔夫 i 就从当前捕鱼位置 X^i 移动到鱼群密度较大的位置 X_{new}^i ，且设定 X_{new}^i 为新的中心，重复上述方法，继续寻找鱼群密度比当前点更大的点。

(2) 收缩策略

假设渔夫 i 经过 $m(m=0,1,2,\dots)$ 次移动搜索后，该渔夫当前位置为 X_m^i 。如果 $f(X_m^i) \leq f(X_k^i)$ ，则渔夫 i 没有新的位移点，此时，渔夫 i 停在当前位置 X_m^i 处，并以该点为中心，以另一种方式建立方体区域，并在四周各撒一次网，得到点 X_m^i 的下网点集为

$$\Omega^{(i)'} = (y_1^{(i)'}, y_2^{(i)'}, \dots, y_n^{(i)'}) \quad (3)$$

其中

$$y_j^{(i)'} \in [x_j^{(i)} - l', x_j^{(i)} + l'], j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式(4)中， $l' < l$ ，如果在 X_m^i 经过连续的收缩搜索后，存在一点 X_l^i ，使得 $f(X_m^i) < f(X_l^i)$ ，则渔夫 i 从当前位置移动到新的位置 X_l^i 并以此点为中心，按照上述移动搜索的方法，继续在搜索空间内寻优。

若渔夫 i 经连续收缩搜索，收缩次数达设定值，则认为 X_l^i 为局部最优点。于是渔夫 i 重新选择初始位置，再进行移动和收缩搜索。通过以上方法，渔夫进行一定移动和收缩搜索后，在解空间内总能找到最优捕鱼位置。

1.2 小生境渔夫捕鱼算法

本文提出一种小生境渔夫捕鱼算法 (Niche Fisher Fishing Algorithm, NFFA)，其过程为：根据种群分布特点，由个体之间的位置形成小生境群体；在每个小生境群体中利用渔夫捕鱼算法进行速度和位置更新。然后对于更新后的群体，利用共享机制提高个体的适应度，保留每个小生境群体最优个体，直到满足终止条件。

(1) 小生境群体的生成

本文小生境群体的划分依据是不同个体之间的欧式距离：

$$d^{i,k} = \|X^i - X^k\|, k=1,2,\dots,N \quad (5)$$

对于给定的参数 (小生境半径 R_{ch})，如果 $d^{i,k} < R_{ch}$, $k=1,2,\dots,N$ ，则该个体加入到小生境群体 X_p 。小生境半径的设置通常根据不同问题通过经验设定。

(2) 共享策略

Goldberg 于 1987 年提出了一种基于适应度共享的小生境技术^[17]，认为每个小生境是有限的资源，在小生境中的个体将共享这个资源。在一个小生境群体内如果个体数量较多，则其群体内的个体适应度相应减小，共享适应度定义为

$$f_i' = f_i / \sum_{j=1}^n sh(d^{i,j}) \quad (6)$$

式(6)中： f_i 为第 i 个体的原始适应度； n 为该小生境中的个体数量，共享函数定义为

$$sh(d^{i,j}) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{d^{i,j}}{R_{ch}}\right)^\lambda & \text{if } d < R_{ch} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

式中： $d^{i,j}$ 表示个体 i 和个体 j 之间的欧式距离； λ 为控制共享函数形状的参数。

1.3 计算流程

通过上述对小生境群体生成及种群内才有渔夫捕鱼算法寻优的方法，进行变电站选址定容的具体步骤如下。

步骤 1：设定初始参数。设定变电站选址定容的小生境半径比例参数 R_0 ，最大进化代数 $Iter_{\max}$ 及种群规模数量 M 等参数。

步骤 2：在控制变量的取值范围内随机生成随机初始化种群 S ，并设定当前进化代数 $Iter = 1$ ，最佳结果为当前初始化种群内的最优个体。

步骤 3：若进化代 $Iter_{\max}$ 度满足收敛要求，则停止搜索，输出最佳结果；否则，转至步骤 4 继续。

步骤 4：根据小生境半径和个体的位置，生成

小生境群体。

步骤 5: 在生成的每一个小生境群体内, 分别进行移动搜索和收缩搜索。

步骤 7: 按式(8)对种群中的个体进行目标函数值计算, 然后按式(6)计算个体的适应度值。

步骤 8: 最佳个体保留, 保存部分中间变量, 转至步骤 3。

2 变电站选址定容数学建模

在确定变电站选址定容计算时, 其目标函数确定一般遵循如下原则:

- 1) 满足目标年的负荷需求, 主要体现规划方案确定时容载比指标上;
- 2) 满足变电站及中压配电网投资及运行经济性最小;
- 3) 满足供电半径、带负荷能力等约束条件。

基于上述基本原则, 确定配电网变电站选址定容优化规划目标函数为

$$\begin{aligned} \min C &= C_{\text{sub}} + C_{\text{line}} + C_{\text{loss}} \\ C_{\text{sub}} &= \sum_{i=1}^n (f(S_i) \cdot \frac{r_0(1+r_0)^m}{(1+r_0)^m - 1} + u(S_i)) \\ C_{\text{line}} &= \alpha \left[\frac{r_0(1+r_0)^{m_i}}{(1+r_0)^{m_i} - 1} \right] \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J_i} d_{ij} \\ C_{\text{loss}} &= \beta \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J_i} W_j^2 d_{ij} \end{aligned} \quad (8)$$

并且满足如下约束方程:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J_i} W_j &\leq S_i \cdot e(S_i) \\ d_{ij} &\leq R_i \end{aligned} \quad (9)$$

式中: C_{sub} 为变电站生命周期内总投资的等年值及运行费用; C_{line} 为配网 10 kV 馈线投资的生命周期等年值; C_{loss} 为估算 10 kV 配电网络年网损费用; n 为规划变电站个数; $f(S_i)$ 为第 i 个待建变电站的投资费用, 一般与变电站用地和变压器台数、容量有关; $u(S_i)$ 为第 i 个容量为 S_i 规划变电站的年运行费用; m 、 m_i 分别为变电站和 10 kV 线路的折旧年限; r_0 为贴现率; α 为 10 kV 线路每千米造价; J_i 为变电站 i 供电的负荷节点集合; d_{ij} 为第 j 负荷节点到其归属变电站 i 的等效线路长度, 在进行变电站规划计算时, 其值为欧式距离乘以 1.2 的曲折系数; N 为所有待建变电站的总数; β 为网络损耗折算系数。式 (9) 中: W_j 为负荷点 j 的有功负荷; $e(S_i)$ 为第 i 个待建变电站的负载率; R_i 为第 i 个变电站的供电半径。

3 算例分析

某城市的规划开发区行政面积 4 800 公顷, 其规划水平年负荷预测结果为 600 MW。规划 110 kV 变电站站内主变最终规模可为 3 台主变, 其可选容量分别为 31.5 MVA, 40 MVA, 50 MVA 和 63 MVA。根据国家电网规划设计导则, 城市 110 kV 变电站容载比一般取值在 1.8 和 2.2 之间。因此, 按照负荷大小及容载比要求可知规划区域内变电容量在 1 080 和 1 320 MVA 之间。如果变电站按照 3 台容量为 63 MVA 的主变配置, 则需要新建 6 个 110 kV 变电站; 如果变电站按照 3 台容量为 31.5 MVA 的主变配置, 则需要新建 14 个 110 kV 变电站。以新建变电站数量为变量, 计算其投资和运行费用, 其变量变化范围内对应最小投资和运行费用对应的方案则为最终规划方案。变电站、线路等投资如表 1 所示。

表 1 变电站、线路等投资参数

设备	容量/型号	综合成本/万元
变电站	2×40 (MVA)	4 000
	3×40 (MVA)	5 000
	2×50 (MVA)	4 500
	3×50 (MVA)	5 500
	2×63 (MVA)	5 500
	3×63 (MVA)	6 500
线路	LGJ—240	45 万元/km

依照上述变电站选址定容的计算步骤, 算法的参数设置为: 种群规模 60, 最大迭代次数 $Iter_{\text{max}}$ 300, 小生境半径 0.1, 计算结果如图 1 及表 2 所示。



图 1 变电站选址定容结果

Fig. 1 Optimal solution of substation planning

表 2 变电站容量结果

变电站	Sub1	Sub2	Sub3	Sub4
容量/MVA	3×50	3×50	3×50	2×50
变电站	Sub5	Sub6	Sub7	Sub8
容量/MVA	3×50	3×50	3×50	3×40

为了比较算法性能,本文分别用 PSO、FFA 和 NFFA 算法对变电站选址定容问题进行求解,每种算法分别进行 100 次试验,得到的结果如表 3 所示。从表 3 中可见 NFFA 算法寻优的结果最好,而且最好值与最差值的偏差仅为 0.22%,鲁棒性也明显优于其他算法。

表 3 不同算法下寻优结果比较

方法	最好值	最差值	平均值	偏差/%
PSO	8 789.2	9 270.6	9 002.4	2.37
FFA	8 782.8	8 945.3	8 885.1	1.15
NFFA	8 778.8	8 915.4	8 834.2	0.63

图 2 为 100 次试验中,每种算法最好的成本进化曲线,从中我们可以看出,PSO 算法容易收敛到局部最优;FFA 算法要到 200 多代才能寻到最优解,收敛速度不够理想;NFFA 算法收敛速度快,100 多代就接近最优解了,并且寻优结果好,适用于求解变电站选址定容问题。

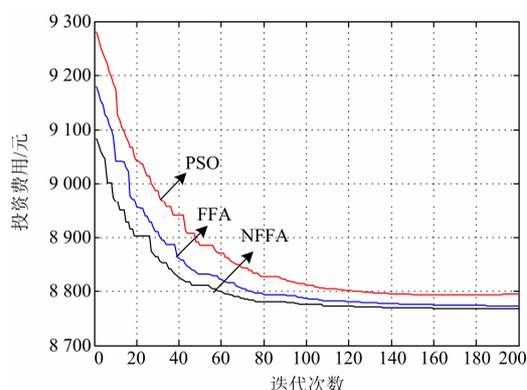


图 2 几种算法的成本进化曲线

Fig. 2 Cost curves of different algorithms

4 结论

本文针对渔夫捕鱼算法可能陷入局部最优的不足,引入了小生境技术,提出了一种小生境渔夫捕鱼进化算法,建立了变电站选址定容目标函数,通过对变电站规划算例计算和规划结果分析,得出以下结论:

(1) 渔夫捕鱼算法模拟渔夫捕鱼行为在解空间内寻优,是一种较新的优化算法,但仍存在陷入局部最优问题;

(2) 小生境共享机制降低了小生境个体数量多的适应度值,在一定程度上保持了种群多样性,从而提高了算法的全局寻优能力。

通过对某地开发区变电站规划及方案结果分析,证明了建立的模型和提出算法可解决变电站规划问题。

参考文献

- [1] BARUKCIC M, HEDERIC Z, JOVIC F. Adaption of genetic algorithm for more efficient minimization of active power losses in power network[J]. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, 2008, 15(3): 11-19.
- [2] FRANKEN N, ENGELBRECHT A P. Particle swarm optimization approaches to coevolve strategies for the iterated prisoner's dilemma[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2005, 9(6): 562-579.
- [3] MORI H, IIMURA Y. An improved tabu search approach to distribution network expansion planning under new environment[C]// International Conference on Power System Technology, Singapore, 2004: 981-986.
- [4] 关洪浩, 唐巍. 基于 Voronoi 图的变电站选址方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 196-200.
GUAN Hong-hao, TANG Wei. Substation location method based on Voronoi diagram[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 196-200.
- [5] 苏海锋, 张建华, 梁志瑞, 等. 基于改进均值聚类随机粒子群算法的变电站 LCC 规划[J]. 电工技术学报, 2012, 27(4): 209-215.
SU Hai-feng, ZHANG Jian-hua, LIANG Zhi-rui, et al. Substation LCC planning based on refined mean clustering random particle swarm algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(4): 209-215.
- [6] 王成山, 刘涛, 谢莹华. 基于混合遗传算法的变电站选址定容[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(6): 30-47.
WANG Cheng-shan, LIU Tao, XIE Ying-hua. Substation locating and sizing based on hybrid genetic algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(6): 30-47.
- [7] 向铁元, 周青山, 李富鹏. 小生境遗传算法在无功优化中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(17): 48-51.
XIANG Tie-yuan, ZHOU Qing-shan, LI Fu-peng. Research on niche genetic algorithm for reactive power optimization[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(17): 48-51.
- [8] 梁昌勇, 陆青, 杨善林. 一种基于小生境熵的自适应混合遗传算法[J]. 中国管理科学, 2008, 16(2): 115-121.
LIANG Chang-yong, LU Qing, YANG Shan-lin. An adaptive hybrid genetic algorithm based on niche entropy[J]. Chinese Journal of Management Science,

- 2008, 16(2): 115-121.
- [9] 张亚璇, 严萃群, 唐巍, 等. 基于改进遗传算法的新建变电站中压配电网规划[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 73-78.
ZHANG Ya-xuan, YAN Cui-qun, TANG Wei, et al. The middle-voltage distribution network planning of new substation based on improved genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(4): 73-78.
- [10] 严司玮, 姚建刚, 李丰涛, 等. 基于改进粒子群算法的变电站两阶段优化选址[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 34-38.
YAN Si-wei, YAO Jian-gang, LI Feng-tao, et al. Two-phase optimal planning of substation locating based on refined PSO algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 34-38.
- [11] 刘自发, 张建华. 基于改进多组织粒子群优化算法的配电网变电站选址定容[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(1): 105-111.
LIU Zi-fa, ZHANG Jian-hua. Optimal planning of substation locating and sizing based on refined multi-team PSO algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(1): 105-111.
- [12] 麻秀范, 崔换君. 改进遗传算法在含分布式电源的配电网规划中的应用[J]. 电工技术学报, 2011, 26(3): 175-181.
MA Xiu-fan, CUI Huan-jun. An improved genetic algorithm for distribution network planning with distributed generation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(3): 175-181.
- [13] CARRANO E G, TAKAHASHI R H C, CARDOSO E P. Optimal substation location and energy distribution network design using a hybrid GA-BFGS algorithm[J]. IEE Proc-Gener, Transm, and Distrib, 2005, 152(6): 919-926.
- [14] 高炜欣, 罗先觉. 基于 Hopfield 神经网络的多阶段配电变电站的规划优化[J]. 电工技术学报, 2005, 20(5): 58-64.
GAO Wei-xin, LUO Xian-jue. A new distribution substation planning algorithm based on Hopfield neural network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(5): 58-64.
- [15] 王汝田, 杨龔亮, 王彬, 等. 模拟渔夫捕鱼寻优算法在多目标无功优化中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(21): 115-119.
WANG Ru-tian, YANG Yan-liang, WANG Bin, et al. Application of optimization algorithm on simulating the fisher fishing in multi-objective optimal reactive power[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(21): 115-119.
- [16] 王勇, 陈建荣, 庞兴. 一种模拟渔夫捕鱼的寻优算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 2(8): 2888-2890.
WANG Yong, CHEN Jian-rong, PANG Xing. An optimization approach combining artificial fish-swarm and fishing strategy[J]. Computer Applications and Software, 2009, 2(8): 2888-2890.
- [17] 刘自发, 张建华. 基于自适应小生境粒子群优化算法的电力系统无功优化[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 27-30.
LIU Zi-fa, ZHANG Jian-hua. Adaptive niche particle swarm optimization on power system reactive power optimization[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 27-30.

收稿日期: 2014-04-23; 修回日期: 2014-07-08

作者简介:

王泽黎(1992-), 男, 本科, 主要研究领域为电动汽车充电设施规划, 新能源接入系统分析及配电网规划。E-mail: zeli.cool@163.com