

配网故障指示器最优配置研究

陈煦斌, 秦立军

(华北电力大学现代电力研究所, 北京 102206)

摘要: 为了实现故障指示器的经济性配置, 提出一个关于故障指示器最优配置的目标函数。从经济性的角度出发, 研究最佳的故障指示器安装位置和安装数目, 期望在缩短故障定位时间的基础上, 最大程度地降低设备安装和运行成本, 达到经济上的最优化。应用免疫算法对该目标函数进行求解, 并对一个小型网络进行故障指示器配置分析, 进行算法仿真。仿真结果表明, 从经济性的角度分析故障指示器的配置问题是可行的, 故障指示器应该安装在合适的地方才能实现最大效益的利用。

关键词: 故障指示器; 最优数目; 免疫算法; 最优位置; 配电网

Optimal configuration of fault indicator in distribution network

CHEN Xu-bin, QIN Li-jun

(Academy of Modern Electric Power Research, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: To realize the economic configuration of fault indicator, this paper proposes an objective function on its optimal configuration. Its number and installation location both affect the fault interruption time. On the basis of shortening fault location time, the cost of equipment installation and operation will be lowered at utmost. This paper takes use of the immune algorithm to solve the objective function and analyzes the fault indicator configuration of a small-scale network and makes algorithm simulation. Simulation results show that it is feasible for analyzing fault indicator configuration from the aspect of economy, and fault indicator should be installed at the suitable locations so as to achieve the maximal benefit.

Key words: fault indicator; optimal configuration; immune algorithm; optimal location; distribution network

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)03-0100-05

0 引言

故障中断时间越来越成为用户对供电满意度的一项重要评价标准。为了加快故障定位和缩短故障中断时间, 故障指示器(Fault indicator)越来越多地被适用于配网中^[1]。故障指示器能在故障发生时, 快速给出故障发生的区段, 并且一些具备自动开关的故障指示器还能将故障区段进行隔离^[2]。

国内对故障指示器的研究主要集中在故障判据^[3]、指示器取能、通信上, 并且也取得一定的成果。国内市场上已经有许多较为成熟的产品。但是, 对于故障指示器最优配置数目和位置却鲜有人研究。国内配置故障指示器的做法一般是每隔一小段距离便安设一个, 这样的做法不仅耗资巨大, 且往往实际的效果提升并不明显。如何在经济性和缩短故障中断时间之间找到一个平衡点, 就是本文所要研究的内容。

国外有研究过使用遗传算法求故障指示器的最

优配置^[3-4], 但是, 由于遗传算法其迭代搜索的随机性和无指导性, 且在运算过程中容易出现较为明显的退化现象, 因此不是研究该问题的最佳方法, 对此, 本文将用免疫算法替代遗传算法, 用于求寻故障指示器的最优配置。免疫算法不仅保留了遗传算法的一些优良特性^[5-6], 还能利用甄选信息和研究问题的特性, 防止退化现象的产生, 十分适合于故障指示器配置方案的最优化分析。

1 优化的目标函数

不论是减少故障中断时间, 还是优化故障指示器的配置数目, 最终都是为了在经济性上达到最佳, 因此, 从经济性上分析是该问题的一个比较恰当的入口。

因此, 目标函数可以由式(1)表示。

$$TC = BRKC + FIC \quad (1)$$

其中: TC 代表全部花费 (Total Cost); $BRKC$ 代表因负荷中断造成的花费 (Break cost); FIC 代表因

安装故障指示器而造成的花费 (Fault Indicator Cost)。因此故障指示器最优问题研究的目标就是让目标函数 TC 最小。

$BRKC$ 既包括本地负荷中断造成的损失, 也包括因本地中断引起其他区段负荷中断造成的损失, 其可用式(2)得出。

$$BRKC = \sum_{i=1}^n [(T_{seek_i} + T_{repair_i}) \cdot \lambda_i \cdot l_i \cdot Price \cdot Load_i + \sum_{j=1}^m (T_{seek_i} + T_{repair_i}) \cdot \lambda_i \cdot l_i \cdot Price \cdot Load_j + other_i] \quad (2)$$

其中: $Load_i$ 为 i 区段的负荷数; $Price$ 为单位 kWh 的电价; l_i 为 i 区段的线路长度; λ_i 为 i 区段的故障概率((次/km)/年); T_{seek_i} 、 T_{repair_i} 分别为 i 区段的故障巡线时间和故障修复时间; $other_i$ 为因 i 区段故障造成的其他损失。

在式(2)中, 我们假设故障中断时间由巡线时间 T_{seek} 和故障修复时间 T_{repair} 组成, T_{repair} 为固定值, T_{seek} 为变值, 由式(3)计算。

$$T_{seek} = \frac{1}{V} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \quad (3)$$

其中: V 为巡线速度; $\sum_{i=1}^n l_i$ 为巡线长度。当该区段

安装故障指示器时, $\sum_{i=1}^n l_i$ 就为该区段的长度; 当该区段未安装故障指示器时, 则由最近的装有故障指示器的上级区段算至该故障区段, 并加上该区段同一级的未装故障指示器的区段, 如 B 和 D 未安装故障指示器, 而 D 的上级区段 A 安装了, 则 D 区段巡线长度应该为 $L_A + L_B + L_D$ 。

考虑到现在安装的故障指示器大多装有远程通信功能, 因此式(1)中的 FIC 由两部分构成, 分别为故障指示器的安装维护费用 ($Price_{FI}$, $Maintain_{FI}$) 和 GPRS 通信年费 (Com_{FI})

$$FIC = n \cdot Price_{FI} / m + n \cdot Maintain_{FI} + n \cdot Com_{FI} \quad (4)$$

式中: N 是故障指示器的安装个数; m 是单个故障指示器的使用年限。

2 免疫算法的应用

免疫算法是利用计算机对自然界中免疫现象的一种模拟算法^[7-8]。在免疫算法中, 抗原相当于最优解, 抗体相当于候选解, 最优化过程将模拟基因

操作进行(如交叉, 变异等)。相对于遗传算法, 免疫算法包含了疫苗注射和免疫选择步骤, 疫苗注射的目的是为了提高种群适应度^[9], 而免疫选择则是为了防止退化现象产生, 通过免疫算法, 最适应抗原的抗体被认为是最优解。

(1) 抗原识别

为了使用免疫算法研究故障指示器的最优配置问题, 引入抗原这一概念, 其相当于目标函数(1)的最小值。关于抗原、抗体的表示, 可使用的方法有很多, 如十进制遗传编码、树形结构编码^[10]等, 为了使实际的最优化问题具体化且便于分析, 本文使用二进制数来表示不同的抗体, 如图 1 所示是一个 11 区段的网络, 该网络的故障指示器 “ABC...IJK” 配置情况可以用二进制数 “01111111100” 表示, 二进制的位数代表区段数, 每一位的 “0” 代表该区段未安装故障指示器, “1” 代表该区段安装有故障指示器。

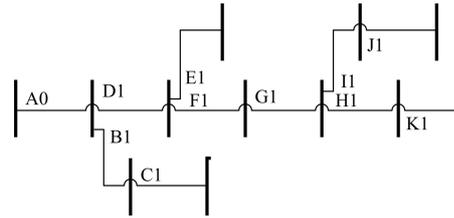


图 1 抗体的二进制表示形式

Fig. 1 Binary representation of antibody

(2) 生成初始抗体群

在一个可行解空间里随机产生一个抗体群, 每个抗体代表一种可能的故障指示器配置方案。

(3) 抗体亲和力计算

抗体的亲和力反映的是其与抗原的亲密度, 亲和力的计算数值越大, 则说明抗体与抗原匹配度越好, 抗体 i 的亲和力用 A_i 表示。

$$A_i = \frac{1}{1 + TC} \quad (5)$$

式中: TC 可由式(1)算出; A_i 在(0,1)范围内变化, A_i 越接近 1, 代表抗体的亲和力越好。

(4) 抗体排斥力的计算

抗体的排斥力描述的是该抗体与当前种群中具有最优亲和力的抗体 X 之间互异程度。为了保证算法的收敛速度, 以及防止局部最优化结果的产生, 需要计算种群中抗体的排斥力。抗体 i 的排斥力用 R_i 表示为

$$R_i = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^n D(j)} \quad (6)$$

式中, $D(j)$ 是抗体 i 与抗体 X 的第 j 个基因位进行异或计算的结果, 计算过程如图 2 所示。

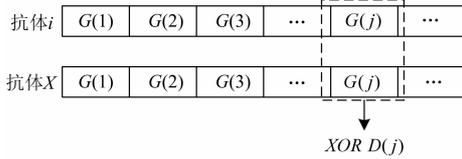


图 2 $D(j)$ 计算示意图

Fig. 2 $D(j)$ calculation process

R_i 的值越大, 说明抗体 i 与抗体 X 的排斥力越大, 种群的互异性越高。最后挑出排斥力高于某一值的抗体形成新种群, 新种群的适应度将高于原始种群。

(5) 产生新抗体

挑选了新的抗体种群后, 就开始通过交叉变异操作形成新抗体, 补充种群中抗体数量。交叉操作一般使用“一刀切”的方法, 即在要交叉的两个抗体上, 随机选择交叉点, 然后交换两个抗体的基因序列如图 3 所示。

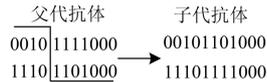


图 3 交叉操作示意图

Fig. 3 Cross operation process

变异操作是根据预定的变异率随机地改变一些抗体基因位上的值, 如图 4 所示。



图 4 变异操作示意图

Fig. 4 Mutation operation process

交叉和变异操作产生的新抗体注入抗体种群, 能有效地提高种群的多样性, 防止搜索过程中局部最优结果的产生。

(6) 疫苗注入和免疫选择

疫苗注入阶段, 即根据先验知识来修改抗体上某些基因位的基因或其分量^[11]。使所得个体有更高的适应度。在故障指示器配置问题研究中, 可注入的疫苗(先验知识)有: 所有包含有重要用户, 一类负荷的区段必须装设故障指示器; 所有已经存在 FDIR 功能自动开关的区段, 不需要再重复装设故障指示器。

免疫检测是对接种了疫苗的每个抗体进行亲和力检测, 若其亲和力比之接种前下降, 则该抗体退回未接种前的状态。

(7) 决定最优方案

当种群的整体的亲和力无法再提高时, 种群中拥有最高亲和力的抗体就是最优解^[12]。

算法的流程图可概括如图 5 所示。

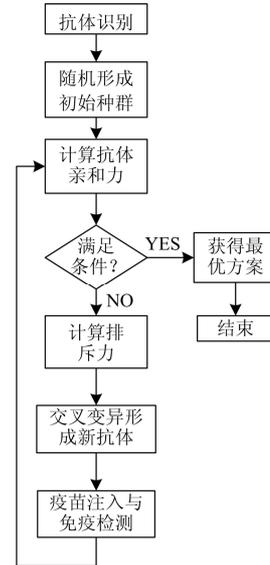


图 5 算法流程图

Fig. 5 Calculation process

3 算法测试

本文使用图 1 所示线路做算法测试, 为了便于直观分析结果, 线路之间的负荷和长度的取值差别比较大, 每一区段的运算参数如表 1 所示。

表 1 算例线路参数

Table 1 Line parameter for calculation

线路	线路长度/km	故障概率 ^[9] / ((次/km)/年)	区段负荷/kW
A	6	0.149	150
B	3	0.132	22
C	2	0.132	10
D	5	0.149	180
E	6.2	0.132	240
F	6	0.149	100
G	4	0.149	70
H	5	0.149	72
I	3	0.132	85
J	1.5	0.132	62
K	2.5	0.149	88

假设故障发生后维护人员巡线速度为 10 km/h, 故障修复时间为固定的 0.5 h, 每个故障指示器的 GPRS 通信费用为 5 元/月, 即 60 元/年, 电费按 0.5 元/kWh 计算, 每个故障指示器为 100 元。

测试中记录种群亲和力(最优的抗体亲和力)的数值如图6所示。

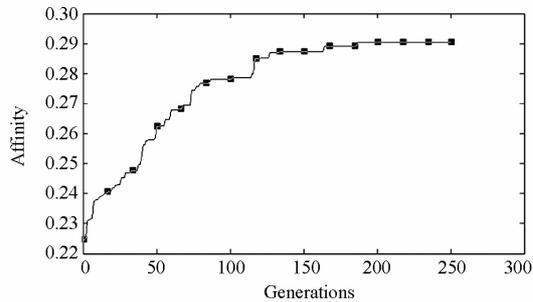


图6 种群亲和力数值图

Fig. 6 Affinity value

TC随着亲和力的增加而减小,由最初的3454.4元减少到最终的2444.7元,变化如图7所示。

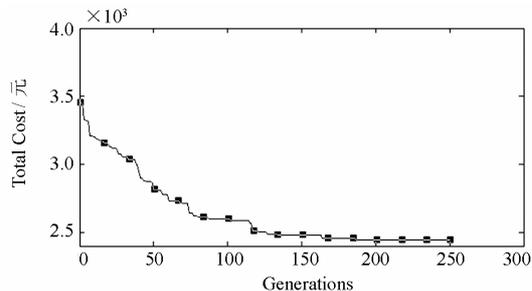


图7 TC结果的变化

Fig. 7 TC results

由图7可见,算法在200次以后大致收敛,并且根据设定的参数,该简单网络中,故障指示器配置问题通过免疫算法得出的结果是00011111100,按所列目标函数计算,该结果比全区段安装故障指示器方案,在Total Cost上少200元左右。由结果可见,一些长度短、负荷低的支路,按最优结果不需要安装故障指示器。

4 结语

本文针对国内故障指示器的滥用和不计成本投入的现状,从经济性和最大程度减少故障中断时间的角度出发,提出故障指示器最优配置研究的目标函数,并利用免疫算法寻求该目标函数的最优解。虽然目标函数的列写还有诸多考虑不周之处,但本文拟在抛砖引玉,随着智能电网的快速发展和国内电力市场的日趋成熟,故障指示器乃至其他电气设备的研究,将不再局限于其功能上,其经济性上的研究也将逐渐成为热点。

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.
MA Shi-cong, GAO Hou-lei, XU Bing-yin, et al. A survey of fault location methods in distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(11): 119-124.
- [2] 齐郑, 张善, 杨开增. 10 kV 系统单相接地故障自动隔离与定位技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 27-29.
QI Zheng, ZHANG Shan, YANG Kai-zeng. Research on technology of grounding fault isolation and location in 10 kV grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(2): 27-29.
- [3] 翁蓝天, 刘开培, 刘晓莉, 等. 复杂配电网故障定位的链表法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 190-196.
WENG Lan-tian, LIU Kai-pei, LIU Xiao-li, et al. Chain table algorithm for fault location of complicated distribution network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 190-196.
- [4] Cong Duc-Pham, Raison Bertrand, et al. Optimization of fault indicators placement with dispersed generation insertion[C] // 2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005.
- [5] 王艳松, 陈国明, 张加胜, 等. 基于小生境遗传算法的配电网开关优化配置[J]. 电工技术学报, 2006, 21(5): 82-86.
WANG Yan-song, CHEN Guo-ming, ZHANG Jia-sheng, et al. Optimal switching device placement based on niche genetic algorithm in distribution networks[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2006, 21(5): 82-86.
- [6] 熊虎岗, 程浩忠, 李宏仲. 基于免疫算法的多目标无功优化[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(11): 102-108.
XIONG Hu-gang, CHENG Hao-zhong, LI Hong-zhong. Multi-objective reactive power optimization based on immune algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(11): 102-108.
- [7] 陈得宇, 张仁忠, 沈继红, 等. 基于适应性权重遗传算

- 法的多目标无功优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 1-7.
- CHEN De-yu, ZHANG Ren-zhong, SHEN Ji-hong, et al. Study on multi-objective reactive power optimization based on genetic algorithm with adaptive weight[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 1-7.
- [8] Rahman Dashti, Javad Sadeh. Fault indicator allocation in power distribution network for improving reliability and fault section estimation[C] // 2011 The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, 2011.
- [9] 章文俊, 程浩忠. 基于树形结构编码单亲遗传算法的配电网优化规划[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 154-160.
- ZHANG Wen-jun, CHENG Hao-zhong. Distribution network optimal planning based on tree structure encoding partheno-genetic algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 154-160.
- [10] LIU Zhan-dong, DAI Yu-gang. An improved immune algorithm and its convergence analysis[C] // 2010 International Conference On Computer Design and Applications, 2010.
- [11] 罗毅, 多靖赞. 基于免疫记忆克隆选择算法的多目标无功优化[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24): 65-70.
- LUO Yi, DUO Jing-yun. Multi-objective reactive power optimization based on immune memory colonial selection algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24): 65-70.

收稿日期: 2013-05-19; 修回日期: 2013-09-12

作者简介:

陈煦斌(1989-), 男, 在读硕士, 研究方向为电力系统自动化技术; E-mail: chenxubin11@sina.com

秦立军(1962-), 男, 教授, 研究方向为电力系统自动化技术。