

进化算法在输电线路故障定位中的应用

王绍部, 祝铂渝, 龚庆武, 舒乃秋

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 当电气信号经过采样通道时,在幅值和相位上都会产生一定的偏差。传统的线性校正方法与采样通道的非线性之间的矛盾使得个别短路点误差较大且总体定位结果呈现一定的规律性。为了最大限度地减少这种偏差对定位结果的影响,提出了一种基于进化算法的最优校正系数的搜寻方法。该方法充分考虑了各通道之间的配合关系并兼顾了最后计算结果和校正系数之间的反馈关系。仿真结果表明,该方法能有效解决定位误差分布不均衡的问题,使得定位结果的总体精度和装置的鲁棒性均有所提高。

关键词: 故障定位; 校正系数; 进化算法

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)22-0009-03

0 引言

故障定位中当电气信号经过采样通道时,在幅值和相位上都会产生一定的偏差。因此,如何选择一组最优的校正系数来对电气信号进行校正,使得计算结果接近真实值是一件很重要的工作。

目前的校正方法存在着如下的缺陷和不足:校正系数利用一组或几组试验数据直接进行线性校正,即校正系数 = (输出值) / (输入值),这种校正方法没有考虑通道的非线性特性(如传感器等元件),而且只考虑了单个通道的情况,而没有考虑各通道的校正系数之间的配合问题。这种校正方法没有和最后的计算结果构成反馈关系,即最后计算结果的好坏,不会对校正系数的修正起到任何的作用。

由于以上缺陷的存在,最后计算结果往往出现以下情况:对于不同故障类型,计算精度不同,例如,相间短路的计算精度要比单相接地短路的计算精度高。过渡电阻不同时,精度也会有所不同。

短路点的位置不同,计算结果的精度不同,且误差具有一定的规律性,如表1所示。

本文旨在寻找一组最优的校正系数使得总体计算结果比较理想。

1 算法原理

1.1 双端信号定位算法

忽略输电线路电容,建立一种 R-L 近似模型。线路的两端分别标记为 M 和 N,线路全长为 L。假设三相线路均匀换位,其等值网络如图1所示。

对线路进行相模变换^[2](本文采用 Karenbauer

变换)后,由于线模分量对应的线路参数在数值上等于正序参数,因此线模分量回路可简化为图2,图中 p 为短路点 f 到 M 侧的距离占线路全长的百分比。

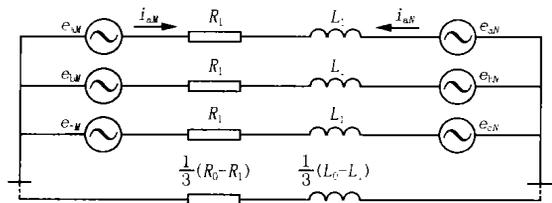


图1 输电线路的 R-L 模型

Fig. 1 R-L model of transmission line

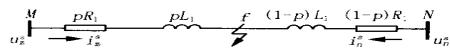


图2 输电线路线模示意图

Fig. 2 Line model diagram for transmission line

由图2可得:

$$u_{mn}^s = p(R_1 i_m^s + L_1 \frac{di_m^s}{dt} + R_1 i_n^s + L_1 \frac{di_n^s}{dt}) - (R_1 i_n^s + L_1 \frac{di_n^s}{dt}) \quad (1)$$

式中: i_m^s, i_n^s ($s = \text{、}$) 分别为第 s 线模量两侧的电流; R_1, L_1 为正序电阻和电感; u_{mn}^s ($s = \text{、}$) 为第 s 线模量两侧的电压差。从而有:

$$p = \frac{u_{mn}^s + R_1 i_n^s + L_1 \frac{di_n^s}{dt}}{R_1 i_m^s + L_1 \frac{di_m^s}{dt} + R_1 i_n^s + L_1 \frac{di_n^s}{dt}} \quad (2)$$

离散化可得:

$$p(k) = \frac{u_{mn}^s(k) + R_1 i_n^s(k) + L_1 \frac{i_n^s(k+1) - i_n^s(k-1)}{2t}}{R_1 i_m^s(k) + L_1 \frac{i_m^s(k+1) - i_m^s(k-1)}{2t} + R_1 i_n^s(k) + L_1 \frac{i_n^s(k+1) - i_n^s(k-1)}{2t}}$$

式中: k 是采样点的序号; t 是两个相邻采样点之间的时间差。对 $p(k)$ 作概率处理去掉粗差, 再用最小二乘^[1]处理即可得出最终定位结果 P 。

1.2 寻找最优校正系数的算法

构造目标函数

$$f(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}) = f(A) = \sum_{i=1}^N (P_i - z_i)^2 \quad (3)$$

$P = P(a_1 u_{ma}, a_2 u_{mb}, a_3 u_{mc}, a_4 i_{ma}, a_5 i_{mb}, a_6 i_{mc}, a_7 u_{na}, a_8 u_{nb}, a_9 u_{nc}, a_{10} i_{na}, a_{11} i_{nb}, a_{12} i_{nc})$;

$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12})$

式中: a_1, a_2, a_3 是 M 侧电压通道对应的校正系数; a_4, a_5, a_6 为 M 侧电流通道对应的校正系数; a_7, a_8, a_9 为 N 侧电压通道对应的校正系数; a_{10}, a_{11}, a_{12} 为 N 侧电流通道对应的校正系数; p_i 为计算出来的短路点的位置; z_i 为短路点的实际位置。

在式(3)中对于固定的 Z 有 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, $f(A)$ 是关于 A 的复杂函数, 且没有明确具体固定的表达式。为此, 我们应用进化算法求式(3)的最小值, 即对于固定的 Z 选择最优的 A 使得式(3)的值最小。

2 进化算法

2.1 进化算法的基本概述

进化算法^[3] (Evolutionary Computation 简记 EC) 是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制随机搜索的算法, 通常可分为: 遗传算法 GA (Genetic Algorithms)、进化规划 EP (Evolutionary Programming)、进化策略 ES (Evolutionary Strategies) 3 种类型。进化算法 (EC) 是一种迭代算法, 即从一定的初值出发通过算子的运算不断地迭代, 逐步改进收敛到最优解, 每一次迭代称为代 (Generation)。搜索的过程是从原问题的一组解进化到一组更好的解, 然后从这组解出发作进一步的改进, 从而达到向最优解逼近的目的。每一组解成为群体 (Population), 每一个解成为个体 (Individual)。

群体搜索策略和群体中的个体信息的交换是 EC 的两大特点, 其优越性主要是本质上的并行性、广泛的可应用性 (对目标函数的性能没有要求)、全局的优化性, 因而适用于求解复杂优化问题 (特别是大规模、非线性、多极值、目标函数无确切表达式的优化问题) 与机器学习问题。

2.2 应用分配区间型进化算法^[4] 寻找最优校正系数

因为 GA 在搜索的过程中难以保持解的多样性, 因而非常容易陷入局部最优解。为了克服这一缺点, 采用了以 EP 为基础的分配区间型进化算法。大致进化过程可归结为以下 6 个步骤。

step1: 产生初始群体 (A_1, A_2, \dots, A_n) , $A_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i(12)}]$; 代数序号 $gen = 1$, 通常有 2 种方法: 在给定区间 $[a, b]$ 内随机生成 (按均匀分布), 或者用正交试验优化选取。这里笔者把线性校正的结果作为第一代群体的父代。

Step2: 变异产生 N 个个体 $(A_{n+1}, A_{n+2}, \dots, A_{2n})$, $A_{n+i} = [a_{(n+i)1}, a_{(n+i)2}, \dots, a_{(n+i)12}]$, $a_{(n+i)j} = a_{ij} + a$; a 是按柯西分布的随机数。如果 $a_{(n+i)j}$ 的值超出了 $[a, b]$, 则采用反射的方法使其重新落入 $[a, b]$ 内。

Step3: 对 $2N$ 个个体按适应度高低排序 (即使得式(3)的值较小的 $A_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i(12)}]$ 适应度高)。

Step4: 用距离函数使个体分配区间 (即当 $|A_i - A_j| > L$ (L 为预先设定的阈值) 则淘汰二者中适应度较小的个体, 以防止近亲繁殖)。

Step5: 选择适应度较高的个体 (取前 N 个个体)。

Step6: $gen = gen + 1$, 判断收敛与否, 若不收敛返回到第二步, 直到收敛。本文采用的收敛准则: 超过预先设定的最大进化代数或者全局最优解 (适应度最高的个体) 在连续的 30 代的进化过程中变化很小 (小于预先设定的阈值), 可认为收敛。

3 RTDS 仿真结果

表 1 是采用直接线性校正而得出的结果; 表 2 是采用进化算法进化到 57 代所得的校正系数的计算结果。

表 1 采用线性校正系数得出的计算结果

Tab. 1 Results obtained by using linear correcting coefficients

短路点	$R_g=50$				$R_g=0$			
	A 相接地故障	误差	AB 相间短路	误差	A 相接地故障	误差	AB 相间短路	误差
5 %	5.329 6	0.329 6	4.929 9	- 0.070 1	5.064 5	0.064 5	4.650 9	- 0.349 1
10 %	10.366 6	0.366 6	10.145 4	0.145 4	10.171 1	0.171 1	9.747 0	- 0.253 0
20 %	20.290 2	0.290 2	19.922 3	- 0.077 7	20.154 0	0.150 4	19.307 5	- 0.692 5
30 %	30.348 2	0.348 2	29.966 0	- 0.034 0	30.148 2	0.148 2	29.929 6	- 0.070 4
40 %	40.665 4	0.665 4	40.019 8	0.019 8	40.179 8	0.179 8	39.881 3	0.118 7
50 %	50.578 4	0.578 4	49.958 6	- 0.041 4	50.293 6	0.293 6	50.120 6	0.120 6
60 %	60.697 9	0.697 9	59.927 6	- 0.072 4	60.254 2	0.254 2	60.043 8	0.043 8
70 %	70.831 4	0.831 4	70.078 8	0.078 8	70.471 9	0.471 9	69.847 2	0.152 8
80 %	80.558 4	0.558 4	79.948 0	- 0.052 0	80.468 7	0.468 7	80.282 0	0.282 0
90 %	90.824 7	0.824 7	90.083 4	0.083 4	90.563 5	0.563 5	90.194 6	0.194 6
95 %	95.847 1	0.847 1	95.007 4	0.007 4	95.777 1	0.777 1	95.148 8	0.148 8
平均误差		0.576 2		0.062 0		0.322 1		0.022 1
最大误差		0.847 1		0.145 4		0.777 1		0.692 5

表 2 采用进化计算得到的校正系数得出的计算结果

Tab. 2 Results obtained by using correcting coefficients from EA

短路点	$R_g=50$				$R_g=0$			
	A 相接地故障	误差	AB 相间短路	误差	A 相接地故障	误差	AB 相间短路	误差
5 %	4.886 9	- 0.113 1	4.785 1	- 0.214 9	4.880 4	- 0.119 6	4.566 2	- 0.433 8
10 %	10.058 3	0.058 3	10.021 4	0.021 4	9.853 5	- 0.146 5	9.674 9	- 0.325 1
20 %	20.064 4	0.064 4	19.797 7	- 0.202 3	20.073 6	0.073 6	19.635 7	- 0.364 3
30 %	30.133 1	0.133 1	29.815 0	- 0.185 0	29.967 4	- 0.032 6	29.605 1	- 0.394 9
40 %	40.155 7	0.155 7	39.868 6	- 0.131 4	40.026 4	0.026 4	39.878 6	- 0.121 4
50 %	50.138 1	0.138 1	49.976 6	- 0.023 4	50.085 3	0.085 3	49.898 2	- 0.101 8
60 %	60.207 8	0.207 8	59.820 3	- 0.179 7	60.074 3	0.074 3	60.005 1	0.005 1
70 %	70.245 4	0.245 4	69.885 8	- 0.114 2	70.055 4	0.055 4	70.270 0	0.270 0
80 %	80.185 9	0.185 9	79.866 1	- 0.133 9	80.176 4	0.176 4	80.047 4	0.047 4
90 %	90.141 0	0.141 0	89.960 0	- 0.040 0	90.322 0	0.322 0	90.217 4	0.217 4
95 %	95.203 5	0.203 5	94.870 8	- 0.129 2	95.421 0	0.421 0	95.240 2	0.240 2
平均误差		0.149 7		0.125 0		0.088 6		0.229 2
最大误差		0.245 4		0.214 9		0.421 0		0.433 8

由以上计算结果可以看出,用进化算法所得出的系数的计算结果精度明显提高,统计计算结果的误差均在 0.5 % 以内。

4 结论

1) 本文提出了一种基于进化算法的最优校正系数搜索的方法。该方法有效解决了由于传统的线性校正方法与采样通道非线性特性之间的矛盾而造成的个别短路点误差较大和总体误差分布不均衡的问题。

2) 使用本文得到的校正系数进行定位计算可将定位结果总体误差控制在一个相对较小的区间内。

3) 进化算法是解决非线性等复杂问题的有效手段。

段。

参考文献:

- [1] 陈允平,吴夙,龚庆武,等(CHEN Yur-ping, WU Su, GONG Qing-wu, et al). 输电线路故障定位的最小二乘法实现(Least Square Realization in Fault Location of Transmission Line) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(13):54-56.
- [2] 解广润(XIE Guang-run). 电力系统过电压(Power System Over-voltage) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1989.
- [3] 云庆夏(YUN Qing-xia). 进化算法(Evolutionary Algorithms) [M]. 北京:冶金工业出版社(Beijing: Metallurgical Industry Press), 2000.

(下转第 61 页 continued on page 61)

Tao, et al). 基于 RS-485 总线的现场监测单元的设计与实现 (Design and Implementation of Local Monitoring Unit Based on RS-485 Bus) [J]. 计算机工程与应用 (Computer Engineering & Application), 2003, 30: 209-211.

- [3] 孙育才 (SUN Yu-cai). MCS-51 系列单片微型计算机及其应用 (MCS-51 Series Single Microcomputer and Its Application) [M]. 南京: 东南大学出版社 (Nanjing: Southeast University Press), 1997.
- [4] 范逸之 (FAN Yi-zhi). Visual Basic 与 RS-232 串行通信控制 (Visual Basic and RS-232 Series Communication Control) [M]. 北京: 清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University

Press), 2002.

收稿日期: 2004-03-09; 修回日期: 2004-04-26

作者简介:

王振浩 (1964 -), 男, 高工, 主要从事电力系统自动化的教学与科研工作;

李涛 (1977 -), 女, 硕士在读, 研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: aalitao@126.com

李新年 (1977 -), 男, 硕士在读, 研究方向为电力系统及其自动化。

Design of temperature and pressure monitoring and controlling system based on RS-485 bus for breaker operation cabinet

WANG Zhen-hao¹, LI Tao¹, LI Xin-nian¹, LI Guo-qing¹, YU Xiao-hui²

(1. Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China; 2. Xi Bussiness Department of Electric Protection and Automation, Xuchang 461000, China)

Abstract: A temperature and pressure monitoring and controlling system based on RS-485 bus for the breaker operation cabinet has been introduced. The equipment is connected on the RS-485 bus to form network, and data communication between PC and the equipment is realized. The system implements the acquisition, displaying, controlling and management of the distributed data on the industry site. It uses Visual Basic 6.0 to design the monitoring software system. The system has been put into use, and the application shows that the system is of high reliability and good real-time.

Key words: RS-485 bus; breaker operation cabinet; monitoring and controlling system; Visual Basic 6.0

(上接第 11 页 continued from page 11)

- [4] 胡云昌, 骆寒冰, 徐慧, 等 (HU Yun-chang, LUO Han-bing, XU Hui, et al). 解决多峰性函数全局最优解的进化算法及其应用研究 (Study on Evolutionary Algorithms to Search Global Optimizations of Multimodel Function and Its Application) [J]. 中国造船 (China Shipbuilding), 1998, 3: 84-95.

收稿日期: 2004-03-22; 修回日期: 2004-06-23

Application of evolutionary computation in transmission line fault location

WANG Shao-bu, ZHU Bo-yu, GONG Qing-wu, SHU Nai-qiu

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A method based on EC to search the best correcting coefficients is presented in this paper, which is significant to the accuracy of fault location. With the consideration of the cooperation in different channels and the feedback between the calculated results and correcting coefficients. The results of the simulation shows that the method can efficiently solve the problem of unbalanced location difference distribution, making the location precision and equipment robustness improved.

Key words: fault location; correcting coefficients; evolutionary computation

作者简介:

王绍部 (1976 -), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护和自动化方面的研究; E-mail: yingbu@gsmail.whu.edu.cn

祝铂渝 (1962 -), 男, 工程师, 主要从事电力系统继电保护和自动化方面的研究;

龚庆武 (1967 -), 男, 副教授, 主要从事电力系统继电保护和自动化方面的研究;

舒乃秋 (1954 -), 男, 教授, 主要从事电力系统在线监测方面的研究。