

# 基于蚁群算法的配电网故障定位与隔离

丁同奎<sup>1</sup>, 张丽华<sup>2</sup>, 陈歆技<sup>1</sup>, 库永恒<sup>3</sup>

(1 东南大学电气工程系, 江苏 南京 210096; 2 广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004;

3 许昌市供电局, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 蚁群算法是一种求解组合最优化问题的新型通用启发式方法, 该方法具有正反馈、分布式计算和富于建设性的贪婪启发式搜索的特点。通过建立适当的数学模型, 基于故障过电流的配电网故障定位变为一种非线性全局寻优问题。该文将蚁群算法用于配电网故障定位方面的研究, 并通过实例证明了该算法的可行性和高效性。

**关键词:** 蚁群算法; 故障定位; 配电网

**中图分类号:** TM73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2005)24-0029-03

## 0 引言

经济的高速发展和人们生活水平的提高对供电可靠性提出了更高的要求。而馈线发生故障后, 要迅速准确地隔离故障区域并恢复非故障区域地供电, 减少停电面积和停电时间。为了满足该目的, 需要利用由馈线上的远程现场监控终端获得的故障信息进行故障定位。目前解决故障定位的算法大致可分为两种: 直接算法和间接算法。直接算法中最典型的就是矩阵算法<sup>[1]</sup>, 该算法计算速度快, 但对上传故障信息的准确度要求比较高, 容错性较差。间接算法也就是所谓的寻优算法, 目前主要有遗传算法和神经网络算法等, 该算法具有较高的容错性。

蚁群算法(ACO)是由 Dorigo<sup>[4]</sup>等人提出。该算法是模拟自然界中真实蚁群的觅食行为而形成的一种模拟进化算法, 具有正反馈、分布式计算和富于贪婪启发式搜索的特点。正反馈有助于快速发现问题较好的解; 分布式计算可避免在迭代过程中出现早熟现象; 而运用贪婪启发式搜索则可使搜索过程中较早地发现可行解。从本质上讲, ACO是一种多代理算法, 通过单个代理之间的低级交互形成整个蚁群的复杂行为。虽然蚁群算法出现的时间不长, 但已经成功应用于许多组合优化问题, 例如典型的旅行商(TSP)、车辆路径问题、机组最优投入以及配电网架优化规划问题等。

本文通过建立适当的数学模型, 把配电网故障定位问题转化为类似于 TSP问题的模式, 并充分借鉴遗传算法的优点, 用蚁群算法进行求解。仿真结果表明该算法的可行性、有效性。

## 1 蚁群算法的基本原理

蚁群算法是模拟自然界中真实蚁群的觅食行为而形成的一种模拟进化算法。单个蚂蚁的行为是简单的, 但是多个简单的个体组成的群体却表现出及其复杂的行为。仿生物学家经过大量的细致观察研究发现, 蚂蚁个体之间是通过一种称为“信息素”的物质进行信息传递的; 蚂蚁在运动过程中, 能够在它所经过的路径留下该种物质, 而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质的存在及其强度, 并以此指导自己的运动方向, 蚂蚁倾向于朝着该物质强度高的方向移动。因此, 由大量蚂蚁组成的蚁群的集体行为便表现出一种信息正反馈现象: 某一路径经过的蚂蚁越多, 该路径的信息素强度就越大, 后者选择该路径的概率就越大。蚂蚁个体之间就是通过这种信息的交流来搜索食物的。

蚂蚁从某一地点出发, 按照状态转移规则选择下一路径, 该规则也被称为“随机比率规则”, 蚂蚁选择路径的转移概率为<sup>[2]</sup>:

$$P_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}(t)}{\sum_{j \in allowedL_i} \tau_{ij}(t)} & j \in allowedL_i \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $allowedL_i$  表示蚂蚁  $i$  还没有走过的路径的元素集;  $\tau_{ij}(t)$  分别表示蚂蚁在运动过程中所积累的信息素及启发式因子的权重因子;  $\tau_{ij}$  表示选择元素  $j$  的期望程度, 其数值一般定位为待选路径的长度的倒数。

每次迭代完成后, 各路径上的信息素都需要进行更新, 其公式如下:

$$i(t+n) = i(t) + i(t, t+n) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$i(t, t+n) = \sum_{k=1}^m k_i(t, t+n) \quad (3)$$

$$k_i = \begin{cases} Q & \text{若蚂蚁 } k \text{ 走过路径 } i \\ L_k & \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

式中： $Q$ 是常数， $L_k$ 表示第  $k$ 只蚂蚁在本次循环中所走过的路径的长度， $1 -$ 表示时刻  $t$ 到时刻  $t+n$ 之间各路径上信息素的蒸发系数。参数  $Q$ 、 $L_k$ 、 $1 -$ 可以通过试验确定其最优组合。

### 2 配电网故障定位的蚁群算法的基本原理

当配电网发生故障后,安装于各分段开关和联络开关处的 FTU 或 RTU 可监测到故障过电流,在与整定的故障电流整定值比较后上传给主站故障信息信号。

#### 2.1 评价函数的构造

系统发生故障后,FTU 或 RTU 上传给主站的故障信号是离散的 0、1 信号,所以配电网故障定位的蚁群算法其实就是一种全局寻优问题,为此必须建立评价函数(或者说目标函数)作为计算的依据。本文采用的评价函数为:

$$F_{it}(i) = \sum_{j=1}^N |I_j - I_j^*(S_B)| + w \times \sum_{j=1}^N |S_B(j, i)| \quad (5)$$

该公式的详细说明请参阅文献<sup>[3]</sup>。

#### 2.2 配电网蚁群算法的几点说明

1) 由于实际中故障多为单点故障,且 3 个以上的元件同时发生故障的机率非常低<sup>[6]</sup>,为了减少迭代次数,本文算例只对 3 个以下的元件同时发生故障的情况进行了分析,但是该算法对 3 点以上故障也适用。

2) 结合蚂蚁觅食以及 TSP 问题的思想以及配电网故障自身的特点,本文假定每一馈线为一“城市”(相对于 TSP 问题进行定义)。假定某配电网有  $N$  条馈线,也就是存在  $N$  个城市,配电网故障定位问题就转化为在  $N$  个城市中选择经过 2 个或者 3 个城市,然后又回到原出发点距离最短的全局寻优问题。城市的选择按“转轮法”进行选择。

3) 由于故障发生时无法预料是单点故障还是多点故障,该算法进行分布式计算。首先假设发生单点故障,进行全局寻优计算,求出评价函数的最小值以及假定条件下的故障点(由于该情况下,评价

函数值很容易求出来,为了提高计算速度,这一步不采用蚁群算法,而是对各点故障情况下的评价函数值进行逐次求解、比较);其次再假定发生两点故障和三点故障,并分别计算出评价函数的最小值以及假定条件下的故障点;最后对三种假定条件下的评价函数值的最小值进行比较,评价函数值最小的假定情况成立,于是也就找出全局最优解。

4) 与 TSP 问题以及蚂蚁觅食问题进行比较,该算法有以下几点不同:

本算法的路径长度不是某一个路径的长度,而是经过两个或者三个所选城市的路径长度的总和(假定单一故障时不采用该方法)。

评价函数的值代表所选路径的长度。

蚂蚁觅食问题中路径上的信息素的强度转化为城市的吸引强度。假定某次经过城市  $i$  和  $j$  评价函数值为  $Fitness$ ,则城市  $i$  和  $j$  的吸引强度增量(式(4))为:

$$i = j = Q \div Fitness \quad (6)$$

本算法的最终结果是按城市的吸引强度在全局寻优,尽管寻优过程引用了路径长度的概念,但不考虑路径的具体选择顺序。比如依次选择了城市  $i, j, k$  与依次选择  $j, i, k$  或者  $k, j, i$  的效果是一样的。

#### 5) 收敛判据

在每一次迭代结束后,将对各城市的吸引强度进行更新,并对其进行排序。假定是  $N$  点同时故障,按各城市的吸引强度进行排序,当第  $N$  个城市的吸引强度大于第  $N + 1$  个城市的吸引强度的 10 倍或者迭代次数超出最大迭代次数作为收敛条件,当满足收敛条件时算法结束,并将城市吸引强度的前  $N$  名作为最后的诊断结果。

### 3 算例分析

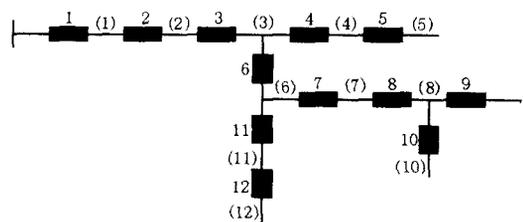


图 1 简单的馈线网络

Fig 1 A simple feeder network

本文用 Visual C# 编制了相应程序,并以图 1 所示系统为例进行仿真。参数值的选取如下:

$$\alpha = 1, \beta = 1, \rho = 0.5, Q = 3, \tau = 1, m = 500, N_{max} = 20, w = 0.05, \tau(0) = 0.01$$

输入一: [1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]  
 输出一: [0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]  
 输入二: [1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0]  
 输出二: [0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]  
 输入三: [1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1]  
 输出三: [0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]

输入四: [1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1]  
 输出四: [0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]  
 输入一和输入三表示在实时故障信息序列中无信息畸变的情况,输入二和输入四表示有信息畸变的情况。表 1 为输入四的各馈线上“信息素”随迭代次数增加的变化情况。

表 1 信息素的变化情况

Tab 1 Change of pheromone

迭代次数	馈线 1	馈线 2	馈线 3	馈线 4	馈线 5	馈线 6	馈线 7	馈线 8	馈线 9	馈线 10	馈线 11	馈线 12
1	73.2	72.96	78.4	100.17	110.62	90.24	64.49	75.27	86.2	65.52	87.87	121.2
3	103.16	92.12	106.96	174.19	259.42	159.79	79.21	71.27	97.59	49.50	161.42	298.69
5	98.214	90.89	85.341	194.75	403.24	183.11	67.21	48.65	85.71	29.99	170.28	462.83
7	82.346	73.66	76.01	211.23	615.12	163.81	45.74	25.30	66.36	14.15	187.31	673.42
9	63.49	70.26	54.25	195.50	790.13	156.53	38.86	12.78	41.00	5.4	193.58	896.13
11	47.14	54.83	36.95	184.2	1011.8	123.24	28.55	6.81	28.70	3.19	193.75	1084.2
13	34.03	35.81	22.73	156.24	1235.0	95.40	13.76	4.79	11.62	1.93	199.26	1270.6
15	18.09	32.93	14.45	112.88	1427.3	75.98	7.49	1.96	8.38	0.54	171.9	1446.4
17	14.81	23.10	7.44	78.05	1559.2	65.48	4.09	1.30	5.32	0.048	147.93	1591.3
19	10.87	12.51	1.78	57.33	1695.5	45.83	1.90	0.75	1.42	0.0044	115.53	1721.1

## 4 结束语

本文利用配电网故障定位问题与 TSP 问题之间的相似性,尝试用蚁群算法求解配电网故障定位问题。由于蚁群算法具有良好的正反馈特点,所以该算法的搜索速度快,并通过算例证明了该算法是可行的、有效的。

## 参考文献:

- [1] 刘健,倪建立,杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 31-33.  
 LU Jian, NI Jian-li, DU Yu. The Unified Matrix Algorithm for Fault Selection Detection and Isolation in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(1): 31-33.
- [2] 王志刚,杨丽徙,陈根永. 基于蚁群算法的配电网网架优化规划方法[J]. 电力系统自动化学报, 2002, 14(6): 73-76.  
 WANG Zhi-gang, YANG Li-xi, CHEN Gen-yong. Ant Colony Algorithm for Distribution Network Planning[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(6): 73-76.
- [3] 卫志农,何桦,郑玉平. 配电网故障区间定位的高级遗传算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(4): 127-130.  
 WEI Zhi-nong, HE Hua, ZHENG Yu-ping. A Refined Genetic Algorithm for the Fault Sections Location[J]. Proceedings of CSEE, 2002, 22(4): 127-130.
- [4] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant System Optimization by a Colony of Cooperation Agents, Part B: Cybernetics[J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics 1996, 26(1): 29-41.
- [5] 伍文城,肖建. 基于蚁群算法的中国旅行商问题满意解[J]. 计算机与现代, 2002, 8: 6-11.  
 WU Wen-cheng, XIAO Jian. Satisfactory Solution of Chinese Travelling Salesman Problem Based on Ant Colony Algorithm[J]. Computer and Modern Society, 2002, 8: 6-11.
- [6] 陈碧云,韦化,钟志农. 基于遗传算法的配电网故障定位系统[J]. 广西电力, 2002, 4: 1-3.  
 CHEN Bi-yun, WEI Hua, ZHONG Zhi-nong. Fault Location System for Power Distribution Network Based on Inheritance Algorithm[J]. Guangxi Electric Power, 2002, 4: 1-3.

收稿日期: 2005-04-19; 修回日期: 2005-07-11

作者简介:

丁同奎(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化;E-mail: pydtkzh@163.com

张丽华(1981-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统最优化;

陈歆技(1965-),男,副教授,研究方向为配电网自动化系统、电力系统仿真等。

(下转第 41 页 continued on page 41)

- Implementation Options[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 2003, 39 (6) : 1803-1813.
- [6] Kolesnikov A, Veselov G, Monti A. Synergetic Synthesis of DC-DC Boost Converter Controllers: Theory and Experimental Analysis[J]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002, 1: 409-415.
- [7] JIANG Zhen-hua. Synergetic Control of Power Converters for Pulse Current Charging of Advanced Batteries from a Fuel Cell Power Source[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, 19 (4) : 1140-1150.
- [8] Monti A, Dougal R, Santi E. Compensation for Step-load Variations when Applying Synergetic Control[J]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003, 1: 334-340.
- [9] Kondratiev I, Santi E, Dougal R. Synergetic Control for DC-DC Buck Converters with Constant Power Load[A]. Power Electronics Specialists Conference 2004. 3758-3764.
- [10] Kondratiev I, Santi E, Dougal R, et al. Synergetic Control for M-parallel Connected DC-DC Buck Converters [A]. Power Electronics Specialists Conference 2004. 20-25.
- [11] Kolesnikov A, Veselov G, Popov A. A Synergetic Approach to the Modeling of Power Electronic Systems[J]. Computers in Power Electronics, 2000: 259-262.
- [12] 郭强,吕世荣,刘晓鹏,等. 用于提高暂态稳定性的可控串联补偿电容器非线性控制器 [J]. 电网技术, 1998, 22 (1) : 40-42.
- GUO Qiang, LÜ Shi-rong, LIU Xiao-peng, et al. Non-linear Control of Thyristor Controlled Series Compensator for Improving Power System Transient Stability[J]. Power System Technology, 1998, 22 (1) : 40-42.

收稿日期: 2005-05-10; 修回日期: 2005-07-09

作者简介:

王学军 (1980 - ),男,硕士研究生,主要研究方向为 TCSC的控制; Email: wxjwto@eyou.com

文劲宇 (1970 - ),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向为电力系统控制、人工智能在电力系统中的应用;

程时杰 (1945 - ),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统控制、人工智能在电力系统中的应用、电力系统载波通信。

## Design of TCSC controller based on synergetic control theory

WANG Xue-jun, WEN Jin-yu, CHENG Shi-jie

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A method based on synergetic control theory for the design of TCSC controller is presented and the simulation in a single machine infinite bus power system is made. The simulation results show that the control can improve the transient stability of power system and damp oscillations effectively with this controller.

**Key words:** power system; synergetic control; TCSC; transient stability

(上接第 31 页 continued from page 31)

## Fault location and isolation for distribution network based on ant colony algorithm

DING Tong-ku<sup>1</sup>, ZHANG Li-hua<sup>2</sup>, CHEN Xin-ji<sup>1</sup>, KU Yong-heng<sup>3</sup>

(1. Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Xuchang Electric Power Bureau, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Ant colony algorithm is a new general-purpose heuristic algorithm for combinatorial optimization problems. The main characteristics of this method are positive feedback, distributed computation and the use of constructive greedy heuristic. By building an appropriate model, the fault location in power distribution network based on the fault overcurrents is transformed into a nonlinear global optimization problem. This paper presents a new algorithm based on ant colony search algorithm to solve the fault location in power distribution network. Numerical examples demonstrate the feasibility effectiveness of the proposed method.

**Key words:** ant colony algorithm; fault location; power distribution system