

改进蚁群算法的配电网网架优化规划方法

张明光¹, 刘昱晨¹, 陆文辉¹, 刘洋²

(1. 兰州理工大学 电信学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030)

摘要: 利用改进蚁群算法对配电网进行规划, 将该算法应用到辐射型配电网中。在已知各配电变电站供电范围的基础上, 利用蚁群算法特有的路径寻优功能进行配电网布局, 并处理蚂蚁留下的信息素, 以方便地求得配电网规划问题的最优或近似最优解。通过具体的算例证明, 改进的蚁群算法具有更优的全局搜索能力, 提高了算法的收敛速度。

关键词: 配电网规划; 电力系统; 蚁群算法; 信息素; 辐射型网络

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)13-0070-03

Improved ant colony algorithm for distribution network planning

Zhang Mingguang¹, Liu Yuchen¹, Lu Wenhui¹, Liu Yang²

(1. College of Electrical Engineer and Information Engineer, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Huadian Electric Power Research Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: The paper using improved ant colony algorithm for distribution network planning, the algorithm is applied to power distribution network of the radiation type, in the known range of the power distribution substation, ant colony algorithm using the unique path optimization function on grid layout, and deal with pheromone which the ants leave can easily obtain the optimal distribution network planning or near optimal solution. Through specific examples demonstrate that the improved ant colony algorithm has better global search ability, and improve the convergence speed.

Key words: distribution network planning; power system; ant colony algorithm; pheromone; network of the radiation type

配电网规划的目的就是寻找一种合理的规划方案, 在满足相关约束条件的同时, 使配电网建设和运营的费用最小。配电网规划是复杂的非线性组合优化问题, 传统的数学规划方法已经很难有效解决这样复杂的问题。近年来, 一些现代启发式优化算法被许多学者应用到配电网规划中, 如模拟退火算法^[1]、遗传算法^[2]以及粒子群算法^[3]等。这些方法具有良好的全局寻优能力, 但是计算效率相对较低, 而且当配电网节点较多时, 这些方法将不可避免地陷入“维数灾”问题。

蚁群算法是由 Dorigo 等人提出^[4], 是一种求解组合优化问题的启发式方法。该方法的主要特点是正反馈、分布式计算以及富于建设性贪婪启发式搜索。正反馈有助于快速发现较好的解; 分布式计算避免了在迭代过程中早熟现象的出现; 而贪婪启发式搜索的运用则使得搜索过程中较早发现可接受解成为可能。现如今, 蚁群算

法被大量应用于多个领域, 如参考文献[5]针对城市交通路径选择问题, 引入蚁群算法并将其改进为可同时满足对路程和时间最优的路径搜索算法; 在电力方面, 参考文献[6]针对配电网重构问题的特点, 提出使用基于中医思想的蚁群算法以求解配电网重构问题; 参考文献[7]利用蚁群算法良好的正反馈和容错性的特点, 提出在故障信息有畸变情况下的故障定位方法, 最后通过算例验证了该算法的有效性。

1 配电网数学模型

不考虑线径问题, 配电网中每一段线路的建设费用可表示为:

$$C_k = l_k g D_k \quad (1)$$

C_k 表示线路 k 的总建设费用; D_k 表示线路的单位长度建设费用; l_k 表示线路 k 的长度。

配电网中每一段线路的网损可表示为:

技术与方法

Technique and Method

$$R_k = a_1 \left(\frac{P_k}{U} \right)^2 g l_k \tau \quad (2)$$

式中, R_k 表示线路 k 的网损; P_k 表示线路 k 的通过功率; a_1 表示电价; U 表示电压; τ 表示年损耗小时数; g 表示线路的电阻率。

配电网规划的目标是对各类用户尽可能经济地提供可靠的电力资源,在变电站供电范围已经知道的情况下,配电网规划问题的目标函数可表示为:

$$\min C = \sum_{k \in N_k} (C_k X_k + R_k) \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} I(l_k) I_{\max} \leq (l_k) \\ V_{\min} \leq V_s \leq V_{\max} \quad s=1, 2, \dots, S \\ K_{\max} = S - 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中, k 表示每条线路的编号; N_k 表示候选线路编号的集合; X_k 表示线路 k 为新建线路时取 1; 线路 k 为已存在线路时根据情况取 0~1 之间的小数; $I(l_k)$ 为线路 l_k 的电流; $I_{\max}(l_k)$ 为线路 l_k 的允许通过电流最大值; s 为负荷点编号; S 为总节点数目; V_{\min} 为节点电压最小值; V_{\max} 为节点电压最大值; K_{\max} 为规划后线路的条数。

2 改进蚁群算法

蚁群在寻找食物时,总能找到到达食物的最短路径。这是由于蚁群在寻找食物时会在路径上留下信息素。当某只蚂蚁遇到一个从未走过的岔路时,它们会随机选择一条路径,同时在这条路径上留下信息素,当后来的蚂蚁再次碰到这个岔路时,选择有信息素或信息素浓度高的路径的概率就会增大,这样选择最优路径的蚂蚁会越来越多,最优路径上的信息素浓度也越来越高,则其他路径上信息素浓度会随时间变化越来越少。最终整个蚁群会形成一条寻找食物的最短路径。

蚁群算法的关键步骤是蚂蚁如何选择所走的路径。初始时刻,各条路径上的信息素浓度是相等的,大量蚂蚁在运动过程中,根据各条路径上的信息素浓度决定搜索方向。在搜索过程中,蚂蚁根据各个路径上的信息素浓度及路径的启发信息来计算转移概率。在 t 时刻蚂蚁由节点 i 转移到 j 的转移概率:

$$p_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta} & j \in allowed \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

式中, $allowed = \{N - \text{tabu}\}$ 表示蚂蚁下一步允许选择的的城市;信息启发式因子 α 反映蚂蚁在运动过程中所积累的信息量在指导蚁群搜索中的相对重要程度,期望值启发式因子 β 反映蚂蚁在运动过程中启发信息在指导蚁群搜索中的相对重要程度。

为了避免残留信息素过多从而影响启发信息的作用,本文选择在每只蚂蚁走完一条路径后,对残留信息进行更新处理。在 $t+n$ 时刻,路径 (i, j) 上的信息量按下

面公式进行更新:

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (6)$$

式中, ρ 为信息素挥发系数, $1-\rho$ 为信息素残留因子,为了防止信息素的无限积累,规定 ρ 的取值范围为: $\rho \in [0, 1]$; $\Delta\tau_{ij}(t)$ 为本次循环中路径 (i, j) 上的信息素增量,初始时刻 $\Delta\tau_{ij}(0) = 0$ 。

为了保证蚂蚁在一次搜索过程中一负荷点只能被访问一次,用一个访问列表 Visited 表示蚂蚁 k 已经访问过的节点,这个列表包含了每只蚂蚁访问过的所有节点。禁忌表 $\text{tabuk} (k=1, 2, \dots, m)$ 用来记录蚂蚁 k 当前所搜索过的负荷点,集合随着 tabuk 变化过程做动态调整。

3 改进策略

蚂蚁数量越大,算法的全局搜索能力越强,但这样会导致算法的全局收敛速度变慢。当蚂蚁数量很大,设定搜索机制为多只蚂蚁同时想多个方向寻找,而这些蚂蚁共用同一个禁忌表,这样并行的方法可以有效提高算法收敛速度。

为了避免算法陷入局部最优,将转移概率准则改进为:让蚂蚁按式(7)从节点 i 转移到节点 j :

$$j = \begin{cases} \arg \max_{\alpha \in allowed} \{[\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta\}, q \leq q_0 \\ \text{根据式(5)选择 } j & \text{否则} \end{cases} \quad (7)$$

其中, q 是 $(0, 1)$ 均匀分布的随机数, $q_0 \in [0, 1]$, q_0 越小,蚂蚁随机选择的概率越大。

4 改进蚁群算法在配电网规划中的应用

本文基于蚁群算法对配电网进行规划。算法流程图如图 1 所示。设定配电网为辐射型网络,首先对配电网规划区域进行统计,然后从变电站开始按照蚁群算法搜索待布局的负荷点,依次在线路上搜索最优的站点进行规划。当所有负荷点均被找到时,将当前搜索路径最优值与全局最优值进行比较,保留两者中的最优值到全局最优值,并按照信息素更新方式

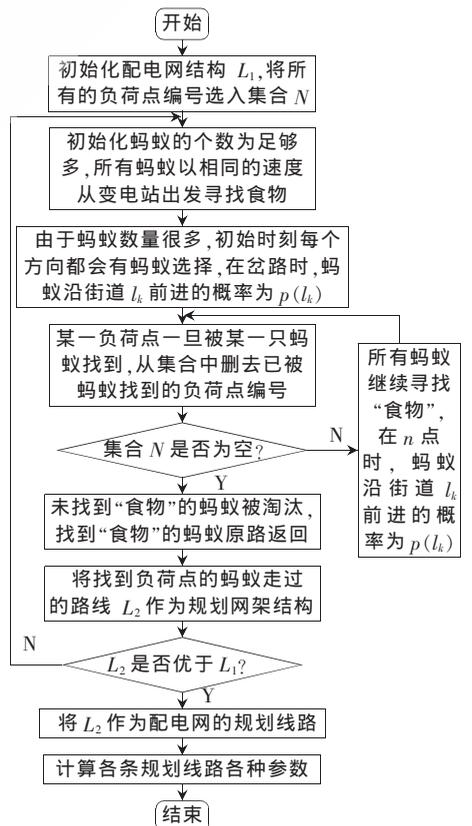


图 1 算法流程图

技术与方法 Technique and Method

对路径上的信息素进行更新。这样循环搜索下去,直到达到规定迭代次数或者当最优值趋于收敛时停止搜索,最后将最优规划路径输出。

蚂蚁搜索路径,当候选街道有信息素时,蚂蚁选择哪条街道的概率由该条街道的信息素决定。当候选街道没有信息素时,则规定蚂蚁将会自动搜索所有候选路径,进而在路径上留下的信息素提供给后来的蚂蚁。本文假设蚂蚁数量较大,通过大批蚂蚁反复从电源点出发寻找负荷点,最终决定配电网规划问题的最优或近似最优网架结构。

流程图所示算法中,规划过程需要考虑导线单位长度造价问题,它将随配电网结构的变化而变化。规划计算中求出的网络结构后通过潮流计算确定各段线路的导线规格,然后再根据导线规格计算单位长度线路的造价。另外,未找到食物的蚂蚁被淘汰是在所有节点已被全部找到时进行。这样可以保证算法在进行过程中蚂蚁的数量不会变少,并确保找到最优解。

5 仿真研究

本文引用参考文献[8]中的算例对基于改进蚁群算法的配电网规划方法进行验证。算例为该规划区域有21个负荷点、33条街道,各条街道上均无已有线路。如图2所示,变电站位于位置6,使用文中所述蚁群算法进行规划。经过计算,最终得到的总费用最小的规划方案如图3所示。优化结果与参考文献[8]的结果基本一致。

本文采用了一种基于改进蚁群算法的配电网规划方法。该方法因为蚂蚁数量很大,增强了蚂蚁的全局搜索能力,避免算法陷入局部最优。由于蚂蚁同时向多个方向搜索,这也增加了算法的收敛速度。算例结果表明了该算法的有效性和实用性。但文中只考虑了辐射型配电网规划问题,对于蚁群算法如何应用到其他接线方式配电网规划问题中,将在以后的文章给予讨论。

参考文献

[1] 倪秋龙,黄民翔.基于支路交换的模拟退火算法在配电网规划中的应用[J].电力系统自动化学报,2000,12

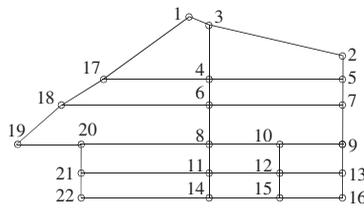


图2 城市街道示意图

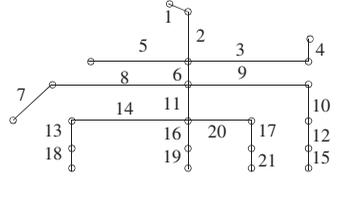


图3 规划结果图

(4):31-35.

- [2] 王秀丽,李淑慧,陈皓勇,等.基于非支配遗传算法及协同进化算法的多目标多区域电网规划[J].中国电机工程学报,2006,26(12):11-15.
- [3] 张宪,苑津莎.基于粒子群算法的配电网规划[J].华北电力大学学报,2006,33(3):14-18.
- [4] DORIGO M, MANIEZZO V, CO-LORNI A. The ant system optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics Part B, 1996, 26(3):1-13.
- [5] 刘经宇,方彦军.蚁群算法在城市交通路径选择中的应用[J].西南交通大学学报,2009,44(6):912-917.
- [6] 王超学,崔社武,崔颖安,等.使用基于中医思想的蚁群算法求解配电网重构[J].中国电机工程学报,2008,27(7):13-18.
- [7] 陈散技,丁同奎,张钊.蚁群算法在配电网故障定位中的应用[J].电力系统化,2006,30(5):74-77.
- [8] 高炜欣,罗先觉.基于蚂蚁算法的配电网网络规划[J].中国电机工程学报,2004,24(9):110-114.

(收稿日期:2012-02-23)

作者简介:

张明光,男,1971年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:先进控制理论与应用、电力系统自动化等。

刘昱晨,男,1986年生,硕士,主要研究方向:电力系统自动化。