

基于蚁群算法的配电网网架优化规划方法^①

王志刚 杨丽徙 陈根永
(郑州大学电气工程学院 郑州市 450002)

ANT COLONY ALGORITHM FOR DISTRIBUTION NETWORK PLANNING

Wang Zhigang Yang Lixi Chen Genyong
(College of Electrical Engineer, ZhengZhou University, ZhengZhou 450002)

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. Distribution network planning is a complicated, nonlinear combinatorial optimization problem. In this paper, the application of ant colony algorithm to distribution network planning is investigated, the mathematic mode of network planning which takes the minimum sum of annual cost and penalty cost of overload as object is established and the solution algorithm is developed. The feasibility and efficiency of the algorithm are verified by the result of applying it to a sample system.

Key Words ant colony algorithm, combinatorial optimization, distribution network, planning optimization

摘要 蚁群算法是一种求解组合优化问题的新型通用启发式方法,该方法的主要特点是正反馈、分布式计算和富于建设性的贪婪启发式搜索。配电网网架优化规划是一个复杂的非线性组合优化问题。本文将蚁群算法用于配电网网架优化规划问题的研究,建立了网架规划的数学模型,该模型以线路的年综合费用和过负荷惩罚费用之和最小为目标函数,并在此基础上设计了相应的算法。算例证明了该算法在配电网网架优化规划中应用的可行性和有效性。

关键词 蚁群算法 组合优化 配电网 优化规划

1 引言

网架优化的目的在于根据投资及运行等费用最小的原则,确定扩建线路的类型、时间及地点,建设技术上安全可靠、经济上费用最省的电网结构。因此,网架优化是一个大规模的组合优化问题。

近年来,在配电网网架优化规划方面涌现了不少新思路和新方法,如遗传算法^[1](GA)、搜索禁忌

算法^[2](Tabu Search)和模拟退火算法等。

蚁群算法最初是由Dorigo等人提出^[3],是一种求解组合优化问题的新型通用启发式方法。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^[3,4]。虽然蚁群算法的出现只是近几年的事,但已经成功应用于许多组合优化问题,例如TSP问题^[3,5]、JSP问题^[3]等。而该算法在电力系统中的应用才刚刚起步^[4]。

本文提出了一种基于蚁群算法来求解配电网网架优化规划问题的方法,建立了数学模型,设计了相应的求解算法及程序,并将该算法用文献[6]的算例进行了测试。结果表明,本文提出的优化方法是可行、有效的。

2 网架优化模型

本文中网架优化模型以线路的年综合费用和过负荷惩罚费用之和最小为目标函数。数学模型可用下式表达:

$$\min f(X) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (C_{1i}x_i + C_{2i}r_{\max i}\Delta P_i) + A_1L & \text{若是辐射网} \\ A_2 & \text{若不是辐射网} \end{cases} \quad (1)$$

式中 X 为 n 维决策矢量,代表问题的解; x_i 是矢量 X 的元素,当待选线路 i 被选中时 $x_i = 1$ 否则 $x_i = 0$;

① 河南省科技攻关项目(991140229)资助
本文2002年9月24日收到
修改稿2002年11月28日收到

$C_{1i} = \gamma_i + \alpha_i$, γ_i 是投资回收率, α_i 是设备折旧维修率; C_{2i} 是电价 (元 / $kW \cdot h$); ΔP_i 是线路 i 的有功损耗 (kW); $\tau_{max,i}$ 是相应的年最大损耗时间 (h); A_1 是过负荷惩罚系数; L 是网络的过负荷 (即超过线路最大允许负荷) 的部分, 其数值可以通过网络的负荷潮流求得; A_2 是一个大数, 代表网络为非辐射网时的惩罚值。

3 蚁群算法原理

蚁群算法主要是受启发于蚁群搜索食物的过程。蚂蚁与蜜蜂、飞蛾一样属群居昆虫; 通过对蚁群行为的研究, 人们发现虽然其单个昆虫的行为非常简单, 但由单个简单的个体所组成的群体却表现出极其复杂的行为; 原因是什么呢? 仿生学家经过大量细致的观察研究发现, 蚂蚁个体之间是通过一种称之为外激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上留下该种物质, 而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质, 并以此指导自己的运动方向。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: 某一路径上走过的蚂蚁越多, 则后来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达到搜索食物的目的^[7], 该过程可以用图 1 来描述。

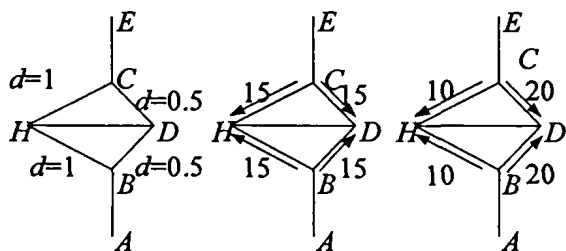


图 1 蚁群系统示意图

设 A 是巢穴, E 是食物源, H 、 D 为障碍物。由于障碍物的存在, 蚂蚁只能经由 H 或 D 由 A 到达 E , 或由 E 到达 A , 各点之间的距离如图所示。设每个时间单位有 30 只蚂蚁由 A 到达 B , 有 30 只蚂蚁由 E 到达 C , 每只蚂蚁过后留下的激素量 (以下我们称之为信息) 为 1。在初始时刻 t_0 , 由于路径 BH 、 BD 、 CH 、 CD 上均无信息存在, 位于 B 和 C 的蚂蚁可以随机选择路径。从统计的角度可以认为它们以相同的概率选择这四条路径。经过一个时间单位后, 在路径 BDC 上的信息量是路径 BHC 上信息量的两倍。 t_1 时刻, 将有 20 只蚂蚁由 B 和 C 到达 D , 有

10 只蚂蚁由 B 和 C 到达 H 。随着时间的推移, 蚂蚁将会以越来越大的概率选择路径 BDC , 最终完全选择路径 BDC , 从而找到由蚁巢到食物源的最短路径。由此可见, 蚂蚁个体之间的信息交换是一个正反馈过程。

4 用蚁群算法求解配电网网架优化

在本文提出的蚁群算法中, 首先将规划区域内 n 条可行待选线路从 1 到 n 编号; 然后求出每条待选线路的转换概率 P_i^k 。在迭代过程中, 蚂蚁每次从这 n 个元素中按每个元素的转换概率选取 1 个元素。对于每只蚂蚁, 该过程同时重复的次数为 ($nodenum$ - $subnum$ - $oldlinenum$), 其中 $nodenum$ 为节点数目, $subnum$ 为变电站数目, $oldlinenum$ 为老线路数目。最终每只蚂蚁形成一个线路集, 该线路集形成一个规划方案。当一次循环完成后, 从所有蚂蚁形成的规划方案中选择具有最小目标函数值的规划方案, 并与当前保存的最优方案进行比较。如果新方案比当前保存的最优方案进行比较。如果新方案比当前保存的最优方案还要好, 那么用新方案比当前保存的方案; 否则维持当前的最优方案。重复上述过程直至达到最大迭代次数。

每个元素的初始信息素是相等的。设信息素 $\tau_i(0) = C$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 其中 C 为常数。寻优过程中, 其信息素 τ_i 将随着蚁群过后留下的激素量的变化而变化。

蚂蚁 k 在运动过程中是根据各个元素的转换概率来决定选取哪一个元素的, 转换概率 $P_i^k(t)$ 表述如下:

$$P_i^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_i^a(t) \eta_i^\beta}{\sum_{i \in allowed L_k} \tau_i^a(t) \eta_i^\beta} & i \in allowed L_k \\ 0 & i \notin allowed L_k \end{cases} \quad (2)$$

式中 $allowed L_k$ 为蚂蚁 k 还没有访问过的元素集; α, β 分别表示蚂蚁在运动过程所积累的信息及启发式因子在蚂蚁选择元素中所起的不同作用; η_i 表示选择元素 i 的期望程度, 且其数值定义为待选线路 i 的长度或投资的倒数。

完成一次迭代后, 每条待选线路的信息素被更新为:

$$\tau_i(t+n) = \rho \tau_i(t) + \Delta \tau_i(t, t+n) \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$\Delta \tau_i(t, t+n) = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_i^k(t, t+n) \quad (4)$$

式中 ρ 是一系数, $1 - \rho$ 是时刻 t 到 $t + n$ 之间各线路上信息素的蒸发系数; m 为蚂蚁数目; $\delta\tau_i(t, t + n)$ 是时刻 t 到 $t + n$ 之间释放在待选线路 i 上的信息量; $\Delta\tau_i^k(t, t + n)$ 是时刻 t 到 $t + n$ 之间蚂蚁 k 释放在待选线路 i 上的信息量, 表达式如下:

$$\Delta\tau_i^k = \begin{cases} \frac{Q}{f_k(X)} & \text{若蚂蚁 } k \text{ 选中元素 } i \\ 0 & \text{若蚂蚁 } k \text{ 未选中元素 } i \end{cases} \quad (5)$$

式中 Q 为一常数; $f_k(X)$ 为蚂蚁 k 所得规划方案的目标函数值, 可由式(1) 计算而得。

基于蚁群算法的配电网网架优化规划算法具体步骤如下:

(1) 给每个元素赋初始信息素值 $\tau_i(0) = C$, 设迭代次数 $N = 0$, 并且令 $\Delta\tau_i^k = 0$, $f_{\min} = C_1$, 其中 C_1 是一大数。

(2) 利用式(2) 计算所有未被加入 tabu 表的待选线路的转换概率 $P_i^k(t)$ 。根据各待选线路的转换概率 $P_i^k(t)$ 从上述线路中选取一条线路。该过程重复的次数如前所述。本文采用基于前推回代的配电网潮流计算方法来求取负荷潮流, 以确定其过负荷惩罚值, 并利用式(1) 计算每只蚂蚁所形成的规划方案的目标函数值。

(3) 如果在步骤(2) 中找到的规划方案的目标函数值比 f_{\min} 小, 那么用该值替换 f_{\min} , 并记下该规划方案; 否则转向步骤(4)。

(4) 利用式(5) 计算信息素增量值 $\Delta\tau_i^k$, 并用式(4) 计算 $\Delta\tau_i(t, t + n)$, 然后用式(3) 计算 $\tau_i(t + n)$ 。

(5) 令迭代次数 $N = N + 1$ 。若 $N < N_{\max}$, 则清空所有的 tabu 表, 转向步骤(2), 否则输出最好的规划方案, 停止。

5 算例

本文引用文献[6] 中的算例对基于蚁群算法的配电网网架优化规划方法进行验证。算例为一个具有 10 节点、2 条现有支路和 14 条可扩建支路的 10 kV 配电网扩展规划, 如图 2 所示。图中 1 节点为变电站, 实线表示已架线路, 虚线表示待选线路。

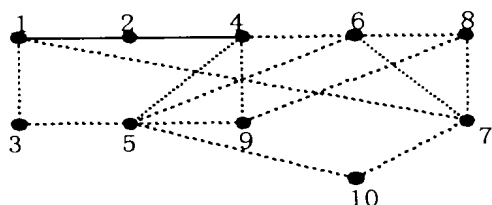


图2 初始网架

在蚁群算法中, 参数设置如下: $C = 0.5$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$, $\rho = 0.8$, $Q = 1$, $m = 30$ 及 $N_{\max} = 50$ 。经过计算, 最终得到的总费用最小的规划方案如图 3 所示。优化结果与文献[6] 的结果一致。

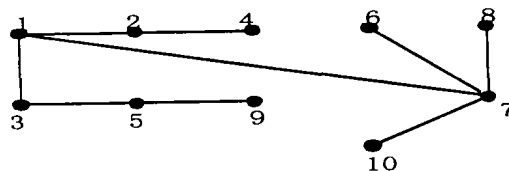


图3 优化结果

6 结论

本文将蚁群算法应用于配电网网架优化规划, 以年综合费用和过负荷惩罚费用之和最小为目标函数, 建立了相应的求解算法, 并通过了算例验证。结果表明, 本文提出的基于蚁群算法的配电网网架优化规划方法是可行和有效的。

7 参考文献

- 1 谢敬东, 王磊, 唐国庆. 遗传算法在多目标电网优化规划中的应用. 电力系统自动化, 1998, 22(10): 20~22
- 2 陈根军等. 基于 Tabu 搜索的配电网规划. 电力系统自动化, 2001, 25(7): 40~44
- 3 Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, Alberto Colnari. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Trans on Systems, man, and Cybernetics-Part B, 1996, 26(3): 1~13
- 4 陈根军, 王磊, 唐国庆. 基于蚁群最优的输电网络扩展规划. 电网技术, 2001, 25(6): 21~24
- 5 Marco Dorigo, Luca Maria Gambardella. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53~66
- 6 康庆平, 周雷. 一个实用的配电网优化规划方法. 电网技术, 1997, 18(6): 39~43
- 7 张纪会, 徐心和. 一种新的进化算法—蚁群算法. 系统工程理论与实践, 1999, (3): 84~87

讨论

问题1. 配电网网架优化规划中如何考虑现有支路的作用?

答: 在配电网网架优化规划的目标函数中(式1), 费用函数包括综合投资、运行费、过负荷惩罚费用三个部分。对于现有线路, 只考虑其运行费用和

过负荷惩罚费用,不再计及其综合投资。因此,现有线路较待选新建线路有着较为明显的优势。在网架优化过程中,应当优先选中现有线路,待现有线路不能满足供电需求时,方才选择新建线路投入。

问题2. 本文算例中如果没有现有支路(即1-2 2-3也是待建支路)网络最优架构是怎样的?与图3有无区别?如果现有支路是可以改造的(例如换线或增加回路数)又会是什么结果?

(上接第66页)

由于MATLAB是主要用C语言开发的,可以很方便地形成嵌入式文件移植到其它的应用程序中,从而方便地和其它应用程序结合实现更广泛的计算机辅助设计和辅助分析。

4 结论

(1) 该应用程序界面友好,对不了解MATLAB语言和编程的工程人员也可方便使用。

(2) 可以方便地实现避雷针保护范围的计算机图像显示,从而快捷地判断避雷针的防雷范围及判断讨论点建筑物和电气设备的防雷安全问题,为实现避雷针防雷技术的计算机辅助设计和辅助分

(上接第68页)

便下一次读数。而此时DASM10的B通道,也对该输入信号进行上升沿捕捉,其步骤与A通道完全一样。最后,按照(9)~(11)所述公式来各自计算频率,然后取二者的平均值即为 f_{ω} 之值,这样便会减少计数误差。

对另一路输入信号 u_k 则DASM9的A、B两个通道,采用下降沿输入捕捉功能,之所这样做,是为了防止在受到干扰时,上升沿或者下降沿有畸变,而影响测量精度。最后,应用 $f = \frac{f_{\omega} + f_k}{2}$ 来得出系统的频率,相当于取了平均值的平均值,这样测到的频率更加准确。实践证明,它能简化测频装置硬件电路,提高装置性能。

4 结论

本文方法已被应用于低频低压自动减载电力自动装置中。采用这一方法,不需要专用的测频电

答:在本文算例中如果没有现有支路,那么在进行网架规划时,需要考虑线路1-2和2-4的综合投资费用(包括线路投资和出线走廊投资)那么优化后的网架就有可能与图3不同。如果现有支路需要改造或经过计算需要新增回路,则费用函数中将计及相关投资和其他费用。原始条件的改变将对网架优化结果产生影响。

析开辟了一条新途径。

(3) 和建筑工程制图软件结合可在建筑物设计的同时对避雷针的保护范围进行确定。

5 参考文献

- 1 杨珏等. MATLAB应用指南. 北京:人民邮电出版社, 1999
- 2 中华人民共和国国家标准 GB50057-94. 建筑物防雷设计规范. 北京:中国计划出版社, 1994
- 3 刘介才. 工厂供电. 北京:机械工业出版社, 1998
- 4 苏金明等. MATLAB6.1实用指南. 北京:电子工业出版社, 2002

路,简化了该装置硬件结构,同时装置性能得到改善,测频更快速、更准确。且该方法计算量小,测频速度快,特别适合于电网频率的微机实时测量。实践证明,这种方法在保证较高测量精度的同时,能保证频率测量的快速完成,对于微型化智能测试系统的研制和进一步开发产品具有一定的参考价值和实际应用意义。

5 参考文献

- 1 Motorola inc. SIM System Integration Module Reference Manual. 1990
- 2 Motorola inc. TPU Time Processor Unit Reference Manual. 1991
- 3 Motorola Inc. MC68332 User's Manual. 1993
- 4 崔广新. 高性能价格比单片机 AT89C205. 电子技术应用, 1996, 22(2): 47~49.