

基于改进蚁群算法的配电网优化规划

黄训诚, 庄奕琪, 耿阿囡

(西安电子科技大学微电子学院, 710071, 西安)

摘要: 提出了一种基于改进蚁群算法的配电网优化规划算法。对于给定的配电网模型, 该算法根据各配电网节点建立初始信息素矩阵, 然后利用蚁群算法所特有的路径寻优功能来搜索配电网布局路径, 并结合改进信息素刷新的方式和在蚁群搜索过程中引入曼哈顿距离以及弹性伸缩调节因子, 使蚁群以较快的速度找到当前布局上的最优路径。通过具体的算例表明, 该算法比一般蚁群优化规划算法具有更高的计算效率和优秀的全局搜索能力, 同时有效地克服了在求解配电网规划问题时蚁群在局部最优解上的巡回而存在的效率不高以及未成熟收敛等现象。

关键词: 蚁群算法; 配电网规划; 信息素; 弹性伸缩

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)06-0727-05

Power Distribution Network Optimization Planning Based on Improved Ant Colony Algorithm

Huang Xuncheng, Zhuang Yiqi, Geng A'nan

(School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A new method of power network planning based on improved ant colony algorithm is presented. For a given power network model, once establishing initialization pheromone matrix, searching the path depending on the special ability of ant colony, combining with an improved method of refreshing pheromone, Manhattan distance and the thought of flexibility, the best power distribution network planning path is found at a higher rate only if it exists. Some examples confirm the computing efficiency and global convergence to solve the difficulty of the premature convergence due to repeat calculation in the existing ant colony algorithm.

Keywords: ant colony algorithm; power distribution network planning; pheromone; thought of flexibility

配电网的网络规划, 一方面要保证用户的用电可靠性, 同时还要考虑变电站容量、线路电压降落损耗、网络的功率损耗和配电网容量分配均衡等。因此, 合理的配电网规划具有重要的现实意义。

配电网规划数学模型的目标函数是投资费用、运行费用以及电网运行损耗最小, 并且满足相关其他具体的约束条件^[1]。在过去的几十年中, 人们结合各种优化算法去解决这一难题, 比如退火算法^[2]、遗传算法^[2-3]、蚁群算法^[4-6]等。与传统的搜索方法相

比, 这类优化算法表现出了一定的优越性, 为了进一步提高优化质量和搜索效率, 往往采用将某些优化算法结合起来使用, 如文献[7]中的模式记忆并行蚁群算法、文献[8]中的禁忌搜索和蚁群算法相结合等等。本文提出一种改进的蚁群算法, 即在传统的蚁群算法中加入曼哈顿最短距离搜索以及弹性张弛的思想, 将其应用到中低压配电网的网架构建中, 并考虑电网功率匹配、投资费用、构建电网线路最短以及地理信息的约束条件。算例表明了本文算法的有效性

和实用性.

1 配电网规划的数学模型

配电网合理构建的目标是对各类用户尽可能经济地提供可靠而合乎标准要求的电力资源,并满足各类用户的要求.目前,对于配电网构建来说,一般在满足辐射性约束、负荷要求以及线路均衡等约束条件下,将投资、网络损耗、生产费用等最优作为求解目标,由于实际中配电网的负荷点规模大且分布分散,所以在布局的过程中要考虑地理信息,这样才能使得所构建的电网更加接近实际应用^[1,9].

1.1 不考虑地理信息因素的配电网网架优化模型

假设对于包含 n 个站点的配电网,电网构建的目标函数可表示为

$$L = \min \left[\sum_{i=1}^n \gamma_i l_i + \sum_{i=1}^n \zeta_i F_i + \sum_{i=1}^n \lambda_i Q_i + A_1 W_1 + A_2 W_2 + A_3 W_3 \right] \quad (1)$$

式中: L 为规划方案评价函数; l_i 为 i 站点的支路长度; γ_i 为 i 站点的线路损耗因子; F_i 为 i 站点的固定投资额(包括电网建设的其他一些附加费用,如设备维修更新费用等); ζ_i 为权重因子; Q_i 为 i 站点的负荷大小; λ_i 为 i 站点的折旧因子; A_1 、 A_2 、 A_3 是惩罚因子; W_1 、 W_2 、 W_3 为网络为非辐射状、不满足负荷要求和布局后负荷不均衡时的惩罚值.

具体实现时,通过线扫描方式得到各个站点的相交节点^[9],如图1中采用“•”所示的节点.可以看出,这些中间节点在式(1)中会影响配电网的非辐射状态.如何保证连接所有站点且保证配电网结构的辐射性是个较难解决的问题.具体实现过程中采用两级蚁群禁忌搜索方式,即配电网负荷点禁忌搜索和中间节点禁忌搜索.首先搜寻当前配电网的下一个最优结构站点,其次在这两个站点的路径中进行中间节点禁忌搜索,从而确保配电网结构的辐射性.

1.2 考虑地理信息因素后的配电网网架优化模型

在实际配电网规划中,馈线线行必需考虑地理信息以及配网辐射性约束等问题^[10-11].

在构造配电网规划方案时,线路一般只能沿着地理图形的边界(比如街道等)进行架设,所以在此结合站点以及地理信息通过线扫描方式重新获取中间节点信息(如图1中采用“▼”所示的节点),然后通过上述的两级蚁群禁忌搜索方式得到最优配电网路径.可以看出,这些中间节点在式(1)中除了影响非辐射性,还会影响具体的站点支路长度 l .

图1示例站点1、2、3(采用“▲”标记的点)在理

想以及考虑地理信息情况下的布局情况.在本文之布局平面图中横纵坐标单位均采用归一化长度.

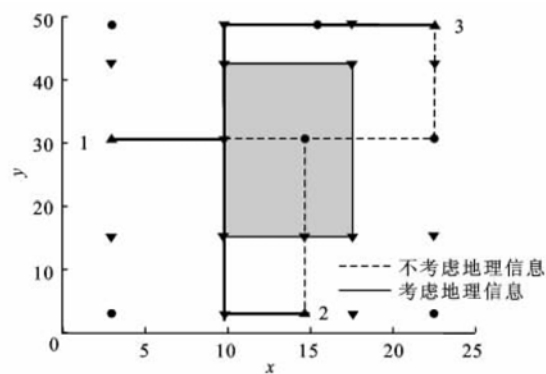


图1 布局模型

2 蚁群算法的改进

蚁群算法是一种智能的全局优化算法.大量的观察数据表明,蚂蚁在自己已走过的路径上总能留下一定的信息素,并通过感知当前行进路径上的信息素大小来决定后续路径的行进轨迹^[4,6].这样通过蚁群整体协作的工作方式,最终总能使其沿着一条从蚁穴到食物源的最短路径行进.

本文采用了改进蚁群算法对配电网进行优化规划:首先从对配电网构建区的站点进行编号统计,然后从变电站点开始按照蚁群算法搜索一个待布局的站点,而后依次在已经布好的线路上搜索最优的站点进行布线.当所有站点均被布线完毕时,将当前搜索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,并按照信息素刷新方式对路径上的信息素进行刷新.这样循环搜索下去,直到规定循环次数或者当最优值趋于收敛时停止搜索,最后将最优布局路径输出.具体的确定原则如下.

蚂蚁 m 处于站点 i , 根据下式选择下一个访问站点 j

$$j = \begin{cases} \arg \max_{j \in \text{group}} \{ \tau_{i,j}^\alpha(t) Q_j^\beta d_{i,j}^{-\beta_2} \} & \text{当 } q \leq q_0 \\ S_{\text{old}} & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$P_{i,j} = \begin{cases} \frac{\tau_{i,j}^\alpha(t) Q_j^\beta d_{i,j}^{-\beta_2}}{\sum_{j \in \text{group}} \tau_{i,j}^\alpha(t) Q_j^\beta d_{i,j}^{-\beta_2}} & \text{当 } j \in X \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\tau_{i,j}(t)$ 为 t 时刻的站点 i 、 j 之间分布的信息素值; $d_{i,j}$ 为站点 i 与目标站点 j 之间的距离; Q_j 为目标站点 j 的电网负荷; X 为搜索节点集合(即包括电网节点以及所产生的中间节点); $q \in [0, 1]$ 是一个随机数; α 、 β_1 、 β_2 、 q_0 是自定参数,其中 α 和 β_1 、 β_2 分别

指蚁群在运动过程所积累的信息和启发信息, q_0 ($0 \leq q_0 \leq 1$) 决定了利用先验信息与探索新路径之间的相对重要性. 当 $q \leq q_0$ 时, 按照先验信息选择路径, 否则按照 S_{old} 采用随机比例选择方式来选择路径, 其中选择概率由式(3)确定.

2.1 信息素刷新方式的改进

在传统的蚁群算法中, 当每只蚂蚁搜索完毕后均按照其搜索路径进行信息素的刷新, 这样的缺点是容易引入不必要的干扰信息, 混淆蚁群的搜索方向, 从而减慢搜索速度甚至会对最优解的生成产生影响. 为了提高搜索速度和确保得到最优解, 本文对信息素的刷新方式由传统的每只蚂蚁每次搜索均释放信息素改为当所有蚂蚁均搜索完毕后, 搜索到当前最短路径的蚂蚁释放信息素, 进行全局的信息素更新, 即按照一定的比例将信息素进行挥发和增强.

当前最短路径上访问点间的信息素为

$$\Delta\tau_{i,j} = \begin{cases} S/F & \text{当}(i,j) \text{属于当前最短路径} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中: S 为一常数, 其值通过实际的布线平面大小来选取; F 为当前最优路径的优化参数, 由式(1)来决定. 信息素的全局更新为

$$\tau(t+1) = (1-\rho)\tau(t) + \rho\Delta\tau \quad (5)$$

式中: $\rho \in [0, 1]$ 是一个自定参数, 其反映了信息素的挥发程度. 当前最短路径上访问点间的信息素需按照式(4)进行更新, 信息素的全局更新按式(5)进行.

2.2 搜索路径方式的改进

在蚁群算法中, 搜索平面以及搜索点的确定直接影响搜索速度, 本文进行如下改进.

(1) 在搜索过程中, 本文结合曼哈顿距离的思想来进行路径搜索. 曼哈顿走线可通过两个转折点分别形成先水平后垂直以及先垂直后水平走线方式. 虽然两种走线方式对当前两点间的评价函数并没有影响, 但是会影响后续端点的评价函数. 为了达到最优布局, 在算法初期, 先对指定的电网平面, 根据各个配电网端点由曼哈顿距离生成任意两个端点之间的转折点. 对于一个包含 n 个端点的电网来说, 至少会生成 $2n$ 个中间转折点 (如图1中所示的实心点), 然后蚁群算法在搜索时结合这些点来进行路径的优化, 以达到最优布局的目的. 与此同时, 在搜索过程中, 使用禁忌表保存已搜索过的点, 从而避免了辐射性检查过程, 提高了算法的效率.

(2) 在蚁群算法的搜索过程中, 调节搜索进度的因子主要有 α 、 β_1 、 β_2 和 q_0 , 本文对这些参数引入弹

性伸缩的思想: 在搜索初期, 加大因子 β_1 和 β_2 , 减少 α 的作用, 即在路径搜索初期, 加大距离以及负荷因素的影响, 使得距离目标端点越近的中间转折点选择的概率越大. 与此同时, 在初期减少因子 q_0 的影响, 更多地以随机方式来选择路径. 随着搜索过程的继续, 逐步加大 q_0 , 即加大先验路径的影响程度, 而且慢慢加大 α , 减少 β_1 和 β_2 的影响, 使蚁群更多地依据信息素浓度来搜索路径. 这样既避免了在搜索初期, 由于各个节点的信息素均衡现象而影响搜索速度, 又体现了全局优化, 避免搜索进入局部最优. 具体过程如下式

$$A = \begin{cases} 0.99A & \text{当 } 0.99A \geq A_{\min} \\ A_{\min} & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$$B = \begin{cases} 1.005B & \text{当 } 1.005B \leq B_{\max} \\ B_{\max} & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $A = (\beta_1, \beta_2)$; $B = (\alpha, q_0)$.

3 算法描述

基于改进蚁群算法的配电网优化规划的步骤如下.

(1) 根据变电站点以及地理信息因素对配电网平面进行线扫描, 生成初始搜索点阵, 并对初始点阵信息素矩阵进行初始化 (信息素矩阵起始均赋值为一个固定常数 C).

(2) 从变电站源点开始进行布局路径搜索.

(3) 按照式(2)、式(3)确定布局目标端点, 并且从当前布局路径中确定出当前布局路径起始点, 其满足到此布局目标端点的约束条件最优 (对于首次布局来说, 当前布局路径起始点当然就是变电站源点).

(4) 按照蚁群算法搜索布局目标端点与布局路径起始点之间的路径, 在此若不考虑障碍因素, 则结合曼哈顿距离概念搜索路径, 若考虑障碍因素, 则需要判断路径中是否存在障碍区域, 为了保证布局最优, 一般可按照绕着障碍边界的方式进行路径搜索.

(5) 重复步骤(3)、(4), 当所有蚂蚁搜索完毕后, 判断出当前最优蚂蚁路径, 保存当前最优评价, 并对其搜索路径上的点阵按照式(4)、式(5)进行信息素更新.

(6) 按照式(6)、式(7)调整搜索进度的因子 α 、 β_1 、 β_2 和 q_0 .

(7) 重复步骤(2)~(6), 直到布局路径搜索完毕, 即规定搜索次数或者最优评价参数趋于稳定.

4 仿真算例与结果分析

将改进的蚁群算法用于配电网优化规划的数学模型,并结合两个缩小的电网模型进行仿真计算.表1、表2分别为理想情况下和考虑地理因素的各站点负荷需求数据.

表1 不考虑地理信息因素的各站点负荷需求

站点	负荷/ kW	站点	负荷/ kW	站点	负荷/ kW	站点	负荷/ kW
1	59	12	100	23	96	34	350
2	140	13	174	24	186	35	152
3	510	14	230	25	373	36	134
4	60	15	83	26	290	37	320
5	112	16	100	27	123	38	271
6	256	17	150	28	193	39	150
7	200	18	510	29	179	40	93
8	83	19	300	30	300	41	178
9	147	20	240	31	142	42	249
10	450	21	72	32	210	43	200
11	230	22	59	33	230	44	241

表2 考虑地理信息因素的各站点负荷需求

站点	负荷/ kW	站点	负荷/ kW	站点	负荷/ kW	站点	负荷/ kW
1	135	4	300	7	246	10	430
2	223	5	270	8	200	11	220
3	489	6	765	9	370	12	438

利用本文方法所计算的配电网结构分别如图2和图3所示,两图中实线表示具体的构建线路,S点为变电站源点,图1共有44个站点,图2共有12个站点.

仿真计算中发现,式(2)~式(5)中自定参数的取值对仿真结果有较大的影响.一般取 $1 \leq \alpha \leq 3$, $1 \leq \beta_1 \leq 3$, $1 \leq \beta_2 \leq 3$, $0.5 \leq q_0 \leq 1$, $0.5 \leq \rho \leq 1$.本文取各个因子的弹性变化范围为: $\alpha=1 \sim 1.5$, $\beta_1=2.5 \sim 1$, $\beta_2=2.5 \sim 1.5$, $q_0=0.5 \sim 0.7$, $\rho=0.8$.

图4是采用一般蚁群算法与改进蚁群算法对表1仿真模型的仿真结果对比,其中改进方式1是指采用曼哈顿距离优化方式,改进方式2是指采用信息素刷新优化方式.

从图4中可以看出,在迭代运算初期,由于信息

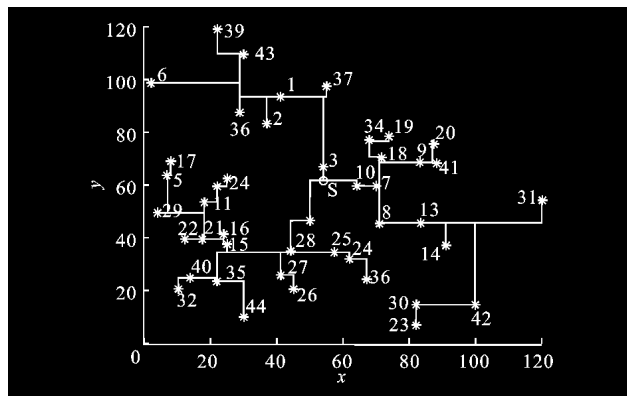


图2 不考虑地理信息因素的配电网构建图

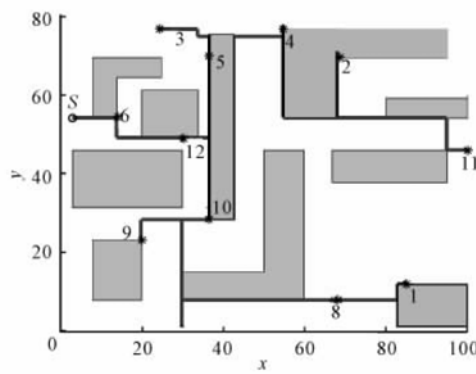


图3 考虑地理信息因素的配电网构建图

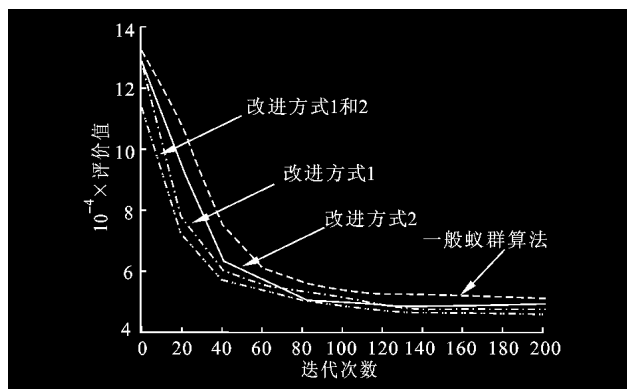


图4 仿真结果比较

素分布基本均匀,采用各种优化方式得到的评价价值均比较大.随着迭代运算的进行,在相同的迭代次数处,可以看出本文提出的结合曼哈顿距离和信息素刷新的改进蚁群算法取得的评价价值均优于其他算法,而且该算法可在较短的迭代运算之后取得比较满意且稳定的结果.

5 结论

在配电网的蚁群优化规划算法中,对信息素的刷新方式采用当前所有蚂蚁搜索完毕后,按一定比例将全局的信息素更新,并结合曼哈顿距离及弹性搜索思想确定搜索平面,既有效提高了优化搜索

速度,又保证了全局优化性能.算例结果验证了本文方法的配电网优化规划的有效性和实用性.

参考文献:

- [1] 金义雄,程浩忠,严健勇,等.现代启发式算法及其在输电网扩展规划中的应用[J].华东电力,2005,33(8):20-24.
Jin Yixiong, Cheng Haozhong, Yan Jianyong, et al. Meta-heuristic algorithms and their applications to transmission network expansion planning[J]. East China Electric Power, 2005, 33(8): 20-24.
- [2] 杨丽徙,张丹,王家耀,等.配网规划中加入扰动策略的蚁群算法[J].继电器,2005,33(9):35-38.
Yang Lixi, Zhang Dan, Wang Jiayao, et al. Ant colony algorithm with little interference strategy in distribution networks planning[J]. Relay, 2005, 33(9): 35-38.
- [3] Rivas Davalos F, Irving M R. An efficient genetic algorithm for optimal large-scale power distribution network planning[J]. IEEE Bologna Power Tech Conference, 2003, 23(26): 113-117.
- [4] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Part B, 1996, 6(1): 1-13.
- [5] Blum C, Dorigo M. Search bias in ant colony optimization: on the role of competition-balanced systems[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2005, 9(2): 159-162.
- [6] 李士勇,陈永强,李研.蚁群算法及其应用[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:29-114.
- [7] 翟海保,程浩忠,吕干云,等.基于模式记忆并行蚁群算法的输电网规划[J].中国电机工程学报,2005,25(9):17-21.
Zhai Haibao, Cheng Haozhong, Lü Ganyun, et al. Transmission network planning based on schema recording parallel ant colony algorithm[J]. Proceeding of the CSEE, 2005, 25(9): 17-21.
- [8] 陈根军,唐国庆.基于禁忌搜索与蚁群最优结合算法的配电网规划[J].电网技术,2005,29(2):23-26.
Chen Genjun, Tang Guoqing. Tabu search ant colony optimization hybrid algorithm based distribution network planning[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 23-26.
- [9] 黄训诚,庄奕琪,耿阿囡.基于蚁群算法的集成电路无网格布线[J].电子器件,2006,29(3):874-877.
Huang Xuncheng, Zhuang Yiqi, Geng A'nan. Gridless net routing of integrate circuit with ant colony algorithm[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2006, 29(3): 874-877.
- [10] 王同文,许文格,管霖.电力网的网架结构优化规划方法[J].继电器,2005,33(21):58-63.
Wang Tongwen, Xu Wenge, Guang Lin. Methods for optimal programming of the electric power grid structure[J]. Relay, 2005, 33(21): 58-63.
- [11] Romero R, Monticelli A, Garcia A, et al. Test systems and mathematical models for transmission network expansion planning[J]. IEEE Proc, Gener Transm and Distrib, 2002, 148(5): 482-488.

(编辑 杜秀杰)

[文摘预登]

系统可观 PMU 最优配置和分阶段配置方案的研究

刘杰, 李建华

(西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

以电力系统配置同步相量测量单元(PMU)个数最少为目标,全网可观测、系统有最大量测冗余度为约束,提出了PMU最优配置模型.针对PMU价格昂贵,很难一次性安装上所有所需PMU的实际问题,提出系统不可观测度的概念,以每阶段安装相同个数的PMU能够最大限度地提高系统量测冗余度和最终完成安装后满足系统可观测的最优配置为约束条件,提出PMU分阶段的最优配置模型.在此基础上,采用改进自适应遗传算法求解此模型,保证全局最优.在陕西49节点实际电网的PMU安装地点优化计算中,不仅给出了14个PMU、120个量测量的最优配置方案,而且给出了优化的三阶段安装步骤,目前此方案已在实际电网中得到应用.