

蚁群算法在输电线路检修计划中的应用^①

程 丽 王长缨 (福建农林大学 计算机与信息学院 福建 福州 350002)

摘要: 以编排输电线路检修计划为背景开展蚁群算法应用研究。以系统在整个规划周期内输电线路检修引起的供电不足风险增加量最小为目标,同时保证各条输电线路检修启动时段始终控制在可选集范围内,提出并描述了基于蚁群算法的输电线路检修计划模型,实例仿真验证了模型的有效性和实用性。

关键词: 蚁群算法; 输电线路; 检修计划

Application of Ant Colony Algorithm to Scheduling Transmission Line Maintenance

CHENGLi, WANG Chang-Ying

(College of Computer and Information, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The minimal risk of lacking load due to the transmission maintenance within the whole layout period is taken as the goal in searching for the best maintenance scheduling. Meanwhile, all lines' maintenance startup time is limited to the range of its maintenance startup-time-choice during the search. A model based on ant colony algorithm for transmission lines maintenance scheduling is presented. Analysis of an example is given to prove the effectiveness and practicality of this model.

Keywords: ant colony algorithm; transmission lines; maintenance scheduling

1 引言

蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)是一种随机搜索算法,它基于对自然界真实蚁群的集体觅食行为(总能找到一条从蚁穴到食物源的最短路径)的研究,模拟真实的蚁群协作过程。算法由若干个蚂蚁共同构造解路径,通过在解路径上遗留并交换信息素提高解的质量,进而达到优化的目的。该算法由意大利学者 M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni^[1]等人在 20 世纪 90 年代初首先提出。它是继模拟退火算法、遗传算法、禁忌搜索(Tabu Search)算法、人工神经网络算法等元启发式搜索算法以后的又一种应用于组合优化问题的启发式搜索算法。

输电线路检修计划的制定是一个复杂的组合优化问题,具有多约束、非线性和离散性的特点。由于该问题的 NP 困难性,找不到可在多项式时间内求得该问题最优解的算法。为了满足求解此问题的时间、空

间要求,寻找某个次优的、可有效计算的可行解成为自然而合理的办法。

输电线路检修计划的优化算法可分为输电与发电联合编制检修计划的优化算法和输电线路单独编制检修计划的优化算法两种类型^[2]。前者主要用于发、输电组合系统,有基于 Benders 分解的发输电检修计划优化算法和灵敏度分析法等;后者主要用于解除管制的电力系统中,包括基于 Benders 分解的输电线路检修计划优化算法和基于可靠性评估的输电线路检修计划优化算法。

文献[3]采用基于禁忌搜索(TS)的算法,以系统在整个规划周期内因输电线路检修引起的供电不足风险增加量最小为目标求解输电线路检修计划。文献[4]采用遗传算法,以检修停电损失最小为目标优化检修计划。

本文以编排输电线路检修计划为背景,以提高系统供电可靠性兼顾经济效益为目标,利用蚁群算法具

^① 基金项目:福建省自然科学基金(2008J0182)

收稿时间:2009-06-27

有分布式计算、正反馈机制和贪婪式搜索的特点,结合禁忌策略,开展优化应用研究。

2 输电线路检修计划问题的数学描述

输电线路检修计划的制定需要从两个方面入手,首先由输电线路检修单位向调度中心提出需要检修的线路、检修内容、期望检修时段。其次调度中心研究线路检修经济性与可靠性随检修启动时段变化的规律,找出每条线路检修经济性与可靠性较好的若干个启动时段,构成检修启动时段可选集。调度中心在制定检修计划过程中,寻找使系统供电不足风险增加量最小的检修计划,在寻优过程中将各条线路检修启动时段始终控制在可选集范围内,从而保证检修的经济性^[2]。

设有 n 条待检修输电线路构成集合 $\{1, 2, \dots, n\}$, 每条输电线路停电后造成的供电不足风险增加量为 R_k , 给定如下约束条件:

- 1) 线路检修启动时段约束:

$$\beta_k \in \Omega_k$$

其中 β_k 为线路 k 的检修启动时段, Ω_k 为线路 k 的检修启动时段可选集;

- 2) 各时段内同时检修线路数目约束:

$$n_t \leq n_{\max}$$

其中 n_t 为时段 t 内同时实施检修的线路总数; n_{\max} 为可同时实施检修的线路数目最大值;

- 3) 检修时间约束:

$$D_k \leq \Phi_{\Omega_k}$$

其中 D_k 为线路 k 的检修用时, Φ_{Ω_k} 为线路 k 可供选择的检修启动时段所提供的检修用时。

则, 求在每条输电线路检修仅一次的情况下, 使得供电不足风险增加量 $R = \min \sum_{k=1}^n R_k$ 时的输电线路检修集合。

3 求解输电线路检修计划问题的蚁群算法

求解输电线路检修计划算法中, 每只蚂蚁是一个独立的用于构造路线的过程, 若干蚂蚁过程之间通过自适应的信息素值来交换信息, 合作求解, 并不断优化。

设有 n 条待检修的输电线路。由于每条线路的检修启动时段不唯一, 因此在寻优过程中将同一条线路置于不同的时段中供蚂蚁选择判断, 从中确定一个满

足检修目标的检修启动时段提供给该线路。即将任意一条输电线路检修启动时段的确定定义为一次搜索, 逐步找出供电不足风险增加量最小的路径集合。

假设有 m 只人工蚂蚁, 定义每只人工蚂蚁的状态变化规则是:

1) 蚂蚁选择一个时段内的输电线路完成寻优工作后开始下一时段的寻优工作;

2) 采用动态输电线路禁忌表控制不再选取已走过的输电线路为下一条路径;

3) 采用动态时段禁忌表控制每个时段内最多能检修的输电线路数目;

4) 完成一次循环后根据所有输电线路供电不足风险增加量的情况来释放相应浓度的信息素, 并更新走过输电线路上的信息素浓度。

蚁群算法求解输电线路检修计划问题的过程如下:

1) 设迭代次数为 l , 初始化 $I = 0$, 各条输电线路上的信息素 $\tau(i, j)$ 初始化;

2) 将 m 只蚂蚁随机置于输电线路的顶点; 建立输电线路禁忌表和时段禁忌表;

3) 利用输电线路禁忌表和时段禁忌表判断符合搜索要求的输电线路;

4) 构造解。每只蚂蚁按照状态变化规则逐步地构造一个解, 即生成一条输电线路以及该线路的检修启动时段。蚂蚁的任务是访问所有输电线路后回到初始输电线路顶点, 构成一条回路。

设蚂蚁 a 位于当前输电线路, 遵循(1)式由当前输电线路向下一条输电线路 k 移动。

$$p(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_k(t)]^\alpha [\eta_k(t)]^\beta}{\sum_{b \in allowed_a} [\tau_b(t)]^\alpha [\eta_b(t)]^\beta} & b \in allowed_a \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

其中 τ_k 代表输电线路 k 上的信息素, η_k 代表输电线路 k 上的启发信息, $\eta_k = 1/R_k$ 。 $allowed_a$ 表示蚂蚁 a 还没有访问的输电线路的集合, 每次循环将已经访问的输电线路从该列表中剔除。

5) 记录得到的各条输电线路信息, 包括所在时段、可检修输电线路的名称及其供电不足风险。更新输电线路禁忌表和时段禁忌表。判断是否所有待检修的输电线路都已经被遍历, 若是, 则跳转到步骤 6), 否则跳转到步骤 4);

6) 记录得到的供电不足风险最小情况下的输电

线路集合及其检修时段，并使用(2)式，按全局信息素来更新输电线路的信息；

$$\tau_k(t+n)=(1-\rho)\tau_k(t)+\Delta\tau_k \quad (2)$$

$$\Delta\tau_k = \sum_{a=1}^m \Delta\tau_k(a) \quad (3)$$

$$\Delta\tau_k(a) = \begin{cases} \frac{Q}{L_a} & \text{如果第}a\text{只蚂蚁经过该线路} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

参数 ρ 表示信息消逝程度， ρ 是一个取值范围在 0 到 1 的常数，表示第 a 只蚂蚁本次循环中留在输电线路 k 上的信息量。 Q 是一个常量，用来表示一只蚂蚁完成一次完整的输电线路搜索后，所释放的信息素总量； L_a 是第 a 只蚂蚁在本次循环中输电线路总风险，它等于第 a 只蚂蚁经过的各条输电线路上的风险 R_k 的总和。

7) 若迭代次数等于 I_{\max} ，则结束，并输出可行解中供电不足风险增量最小的解；否则 $I=I+1$ ，转 2) 进行下一代进化。

上述算法的流程图如图 1 所示。

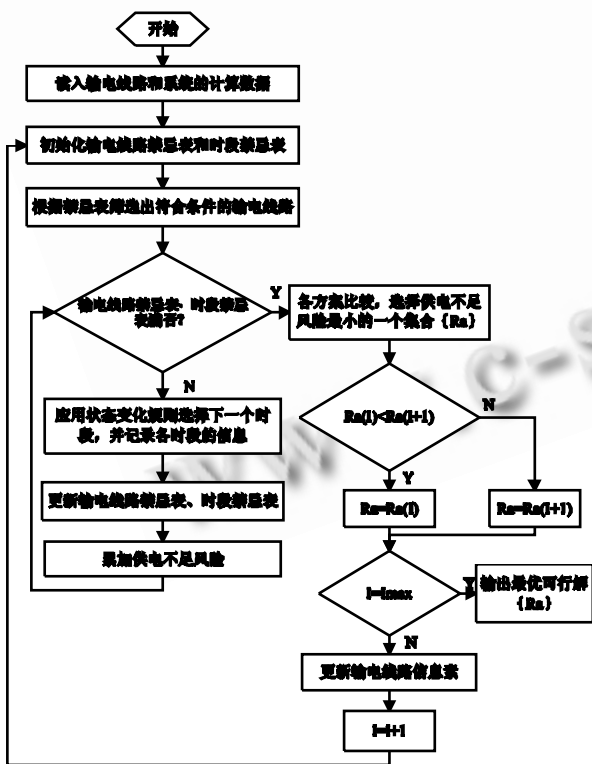


图 1 基于蚁群算法的输电线路检修计划流程图

图 1 中， $R_a(I)$ 表示当次迭代中蚂蚁经过输电线路

后获取的最小供电不足风险； $R_a(I+1)$ 表示下一次迭代中蚂蚁经过输电线路后获取的最小供电不足风险。

4 算例

本文通过实例，仿真验证模型和算法的可行性。假设 24 条线路需在规划周期内实施检修。各条线路检修信息见表 1。

表 1 待检修输电线路信息

序号	起始节点	终止节点	检修启动时段可选集
1	N1	N2	3,4,5,6,7,8
2	N9	N10	1,2,3,4,5,6
3	N12	N14	7,8,9,10,11,12
4	N22	N23	24,25,26,27,28,29
5	N25	N27	19,20,21,22,23,24
6	N19	N34	6,7,8,9,10,11
7	N37	N40	4,5,6,7,8,9
8	N40	N42	13,14,15,16,17,18
9	N47	N49	21,22,23,24,25,26
10	N50	N57	11,12,13,14,15,16
11	N56	N59	15,16,17,18,19,20
12	N59	N61	18,19,20,21,22,23
13	N64	N65	27,28,29,30,31,32
14	N62	N67	31,32,33,34,35,36
15	N47	N69	31,32,33,34,35,36
16	N77	N78	16,17,18,19,20,21
17	N79	N80	15,16,17,18,19,20
18	N88	N89	30,31,32,33,34,35
19	N92	N94	4,5,6,7,8,9
20	N82	N96	5,6,7,8,9,10
21	N96	N97	8,9,10,11,12,13
22	N108	N109	20,21,22,23,24,25
23	N27	N115	16,17,18,19,20,21
24	N75	N118	34,35,36,37,38,39

研究中将每天设置为一个时间段，规划周期长度设定为 39 个时间段，共计 39 天，将在一个时间段内可同时检修线路的最大数目设定为 3。

在蚁群算法中涉及到的参数有信息素重要程度 α 、启发式因子重要程度 β 、挥发系数 ρ 、蚂蚁只数 m 、信息素增加强度系数 Q 、最大迭代次数 I_{\max} ，这些参数将直接影响蚂蚁算法的效率和最终结果。由于针对不同的问题，参数往往不能够确定下来。使用参考文献 [5,6] 中的数据，参数 $\alpha=2$ 、 $\beta=2$ 、 $\rho=0.2$ 、 $m=8$ 、 $Q=50$ 、 $I_{\max}=200$ ，图 2 给出每次迭代得到的当前解所对应的评价函数值(即供电不足风险的增量)。

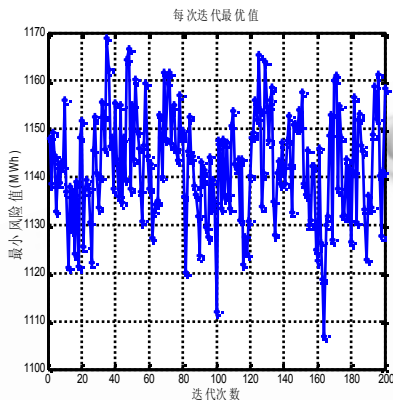


图2 每次迭代最优值

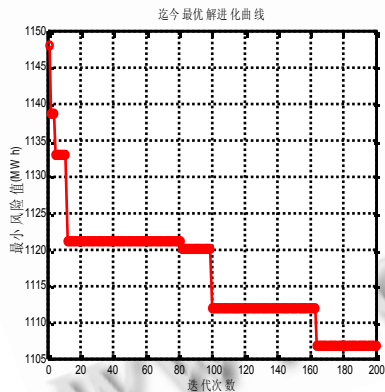


图3 最优解进化曲线

本算例最优值为 $1077MWh$ ，最差值为 $1313.8MWh$ 。图3显示求得解为 $1106.8MWh$ ，所求

结果与最优值相差较小，说明蚁群算法能够求得较为满意的解。

5 结语

本文从寻优的角度出发，提出了基于蚁群算法的输电线路检修计划编排方案。该方法具有较好的鲁棒性，能够自适应多种复杂的输电线路检修问题，解决人工制定检修计划费时费力、难以优化且可靠性较差的问题。经实例仿真表明，所提出的模型正确有效，具有一定的理论价值和实用价值。

参考文献

- 1 Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B, 1996,26(1):29-41.
- 2 林海华,李卫东.输电线路检修计划的优化算法综述.继电器, 2005,33(14):87-91.
- 3 魏少岩,徐飞,闵勇.输电线路检修计划模型.电力系统自动化, 2006,30(17):41-44,49.
- 4 朴在林,赵斌,刘娜.遗传算法在农村电网检修计划优化中的应用.农业工程学报, 2007,23(3):141-145.
- 5 李士勇,陈永强,李研.蚁群算法及其应用.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- 6 段海滨.蚁群算法原理及其运用.北京:科学出版社, 2006.