

基于蚁群算法的变电站巡检机器人路径优化研究

针对变电站巡检路径优化问题，将蚁群算法应用于变电站巡检机器人导航中；因该算法要求路径随机可变，机器人的导航控制采用激光导航方式。对蚁群算法的数学模型进行分析并仿真，进一步验证了通过该算法能够满足巡检路径的优化并找到最优路径。

刘焯琨 刘红兵/太原科技大学电子信息工程学院
王 瑾/中核北京控制系统有限公司



刘焯琨/硕士研究生

关键词/Keywords

变电站 ·
巡检机器人 ·
激光导航 ·
蚁群算法 ·
路径优化 ·

0 引言

变电站的正常运行对于电网输电起着举足轻重的作用，因此，变电站巡检工作是保障变电站设备安全运行、提高供电可靠性的一项基础工作。传统的巡检工作是由人工来完成的，除了需要消耗大量的人力、物力和财力，还面临着复杂的环境和电磁辐射带来的危害^[1]。随着科技的发展和机器人技术的兴起，将机器人应用于变电站的巡检工作，其便捷、高效和精准的技术使得巡检机器人拥有广阔的应用前景。

由于算法需要是基于路径在线可变的模式，因此本文采用激光导航作为变电站巡检机器人的导航方式，地面无须安装定位设施，巡检行驶路径可灵活多变，能够适合变电站复杂的环境。采用SICK公司的NAV350作为激光扫描器。

对于巡检机器人的路径规划问题，目前有很多种AGV的路径规划方法，例如C空间法、栅格（grid）法、蚁群算法和遗传算法等。蚁群算法由Marco Dorigo于1992年在其博士论文中提出，其灵感

来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现路径的行为。蚁群算法是用来解决TSP（旅行商）问题的，TSP问题就是一个商人从他所在的城市出发到 n 个城市去，每个城市只能去一次，最后返回他出发的城市，并且要求花费最少（即距离最短）^[2]。而巡检机器人可以看作一个商人，从充电室出发，对每个检测点进行巡视一次且不重复，最后返回充电室，要求走过的路径最短。因此，在激光导航的基础上，将蚁群算法融入，来寻求巡检机器人巡检的最优路径，最后用Matlab对蚁群算法在路径优化上的应用进行仿真。

1 变电站巡检机器人的激光导航系统

1.1 激光定位原理

巡检机器人激光导航原理与激光测距相同，即通过测量激光从发出到接收的时间计算出距离前方障碍物的距离。只不过激光测距测量一次即可，而激光导航则是需要进行多点位的测距，以定位自己在整个坐标系所处的位置。本文所述激光导航系统是在变电站道路两旁合理布局路标（反光板），巡检机器人车体前部搭载NAV350激光扫描器，行进过程中激光传感器旋转扫描路标，通过发出光到反光板，反射回激光传感器的传播时间可以计算出到物体的距离，经三角形几何计算，可得到巡检机器人在变电站中的位置和行驶方向^[3]。图1为激光定位原理图。

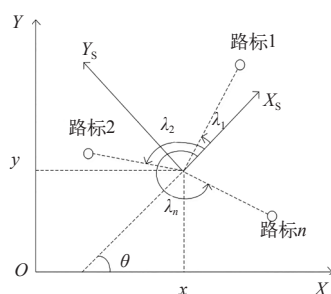


图1 激光定位原理图

1.2 导航控制原理

根据文献[4]所述,在变电站内,巡检机器人所要巡检的路线大多数为直线,对于需要转弯、掉头的位置,弯曲路线相当于多个直线路径组合而成。因此,巡检机器人的导航控制可以说是对当前路径的位置偏差 ΔS 和航向偏差 $\Delta\theta$ 的控制。导航过程中,利用激光定位传感器解码并实时输出的高精度位置坐标数据,对当前位置及目标环境位置进行精准定位,通过微计算机向机器人控制系统发送指令信号,机器人运动控制器处理后闭环控制机器人左右两轮速度,使其沿着预先设定的路径运行。图2为导航控制原理图。

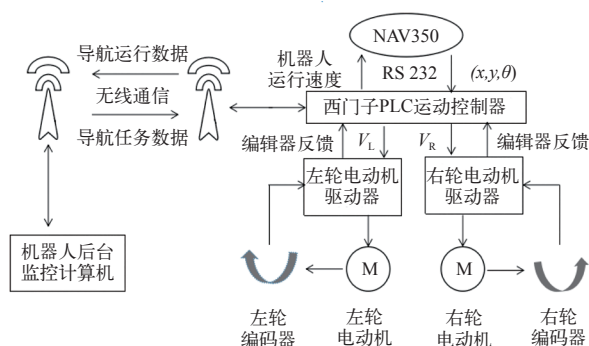


图2 机器人导航控制原理

1.3 硬件系统设计

本文的激光定位系统采用SICK公司研制的NAV350系统,该系统由一台NAV350激光扫描器和一些反光板路标构成。旋转激光扫描器包含激光发射装置、接收装置和计算单元,其路标检测的最远距离为70 m,定位准确度为 ± 4 mm到 ± 25 mm(取决于反光板的间距),测角准确度为 $\pm 0.1^\circ$,轮廓测量高达35 m,数据输出频率为8 Hz。激光定位系统通过旋转激光扫描器 360°

扫描角检测反光板,来计算机器人在全局坐标系下的位置和方向。巡检机器人运动控制器采用西门子PLC运动控制器T-CPU,通过RS 232接口与NAV350进行通信,一方面采集当前机器人实际运行速度并传送至NAV350供其定位计算使用,另一方面接收NAV350输出的定位数据,根据后台监控计算机下发的导航任务控制机器人沿设定路线运行^[5]。最后,机器人控制器将巡检车体导航运行数据通过无线传输方式回传至计算机基站。图3为导航系统硬件组成示意图。

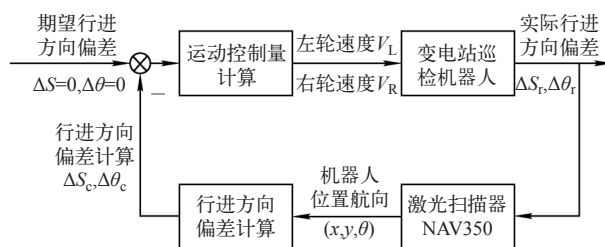


图3 导航系统硬件组成示意图

1.4 路标布局与检测

在路标检测模式下NAV350在扫描头一个周期内会产生一个当前反光板环境的图像。NAV350在这时最多检测40个反光板并确定每一个反光板对应的位置。AGV扫描反光板行进路线如图4所示。

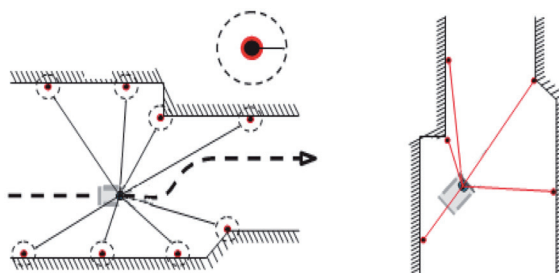


图4 AGV扫描反光板行进路线

反光标记设计成圆柱形,圆柱形在任何角度都能被检测到。并且反光板和反光的物体必须区分开,因为激光扫描器要从周围反光板的位置来分配所测量的数据。反光板的垂直尺寸和垂直位置必须选好,使得即使在不平的地面上时光束也能照射到反光板。NAV350最大扫描距离为70 m,确定反光板最低高度时要考虑地面的特点和要扫描的距离,因地面不平引起机器人的倾斜也必须考虑在内(包括安全裕量)。圆柱反光板直径最小为

80 mm, 同一层反光板的直径可以不同, 但是如果映射整层, 则只能用直径相同的反光板。

反光板的分布必须使激光扫描器在任意的地方都能扫描检测到至少三个反光板, 并要求在道路两旁尽可能安装数量相同的反光板。激光扫描器识别反光板是把检测到的位置按存储的位置进行分配, 在初始化位置时必须考虑到特殊的要求, NAV350要在初始化时可以清楚地分辨反光板的位置, 它需要一个能被反复认出的不对称布局, 在这种不对称布局中每两个反光板间必须有至少500 mm的距离。不是所有的反光板都能被检测到, 或者由于特殊情况某次被遮挡时, 也要保证至少三个反光板能被检测到^[6]。在定位准确度要求的地方和拐弯处, 在NAV350限制半径范围内至少有四个反光板被检测到, 而且每两个反光板之间的角度要大于120°。

2 巡检机器人路径规划的蚁群算法

2.1 蚁群算法(ACO)原理

通过生物学的观察和研究, 蚂蚁从蚁穴出来觅食到获得食物后回蚁穴的路径中, 会在走过的地方留下信息素作为标记, 其他蚂蚁会感知到信息素的存在。由于短的路径蚂蚁来回的次数较多, 所以留下的信息素多, 其他蚂蚁就会沿着短的路径走, 这样信息素就越来越多, 这是一个正反馈的过程。随着信息素的挥发, 其余路径上的信息素逐渐消失, 只留下了最短路径, 从而蚂蚁就会寻觅到蚁穴和食物之间的最优路径^[7]。

2.2 ACO数学模型

t 时刻蚂蚁从巡视点 i 到巡视点 j 的概率为

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in A_k} \tau_{is}^\alpha(t) \eta_{is}^\beta(t)} & j \in A_k \\ 0 & j \notin A_k \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\tau_{ij}(t)$ 为 t 时刻 (i, j) 上的信息素数量; α 为信息素启发因子; β 为期望启发因子; $d_{ij} = \{i, j = 1, 2, \dots, n\}$ 为巡视点 i 和巡视点 j 的距离, 选取的距离是欧式距离; $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ 为 (i, j) 上的启发函数, 表示

巡视点 i 到巡视点 j 的期望度; $A_k = \{C - \text{tab}U_k\}$, $\text{tab}U_k = \{1, 2, \dots, m\}$ 为蚂蚁 k 的禁忌表, 用来记录蚂蚁 k 已经走过的巡视点。

考虑到外界环境的影响和信息素的挥发, 需要设 ρ 来表征信息素挥发的程度, 那么信息素还剩余的程度用 $1 - \rho$ 来表示。当所有的蚂蚁都完成巡视后, 所有的巡视路径根据下面的全局信息素更新公式更新路径上的信息素, 得出最短路径为

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (2)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (3)$$

式中, $\tau_{ij}^k(t)$ 为第 k 只蚂蚁在路径 (i, j) 上留下的信息素的增量; m 为蚂蚁群的总数量; Q 为信息素强度; L_k 为蚂蚁 k 走过的路程^[8]。

2.3 ACO步骤

蚁群算法步骤如下。

1) 设蚁群总数为 m , 巡视点为 n 个。首先初始化, 初始时刻迭代次数 $N_c = 0$, 蚂蚁个体计数 $k = 1$, 最大迭代次数为 $N_{c, \max}$ 。

2) 迭代次数 $N_c = N_c + 1$ 。

3) 蚂蚁计数 $k = k + 1$ 。

4) 根据式(1)选择下一个巡视点, 修改蚂蚁 k 的禁忌表, 将下一个巡视点放入禁忌表中, 并且进行局部信息素更新, $\text{tab}U_k = \text{tab}U_k + 1$ 。

5) 若 $k \geq m$ 则跳转到步骤6), 若 $k < m$ 则跳转到步骤3)。

6) 根据信息量更新式(2)和信息素增量式(3), 更新每条路径上的信息量。

7) 若不满足结束条件, 即 $N_c < N_{c, \max}$ 时, 返回步骤2); 若满足结束条件, 即 $N_{c, \max} \geq N_c$ 时, 则循环结束并输出计算结果。

蚁群算法步骤框图如图5所示。

3 仿真分析

以图6所示的某实际变电站为例, 利用ACO算法对其进行规划并寻找最优巡检路径。将变电站建立在平面直角坐标系内, 黑色圆点表示巡检机器人需要巡视的监测点。巡检机器人从充电室出

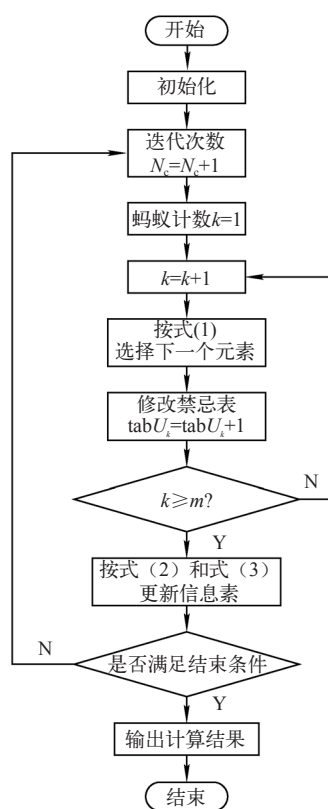


图5 蚁群算法步骤框图

发, 对22个监测点进行巡检, 每个监测点只到一次, 全部监测点巡检完成后返回充电室。

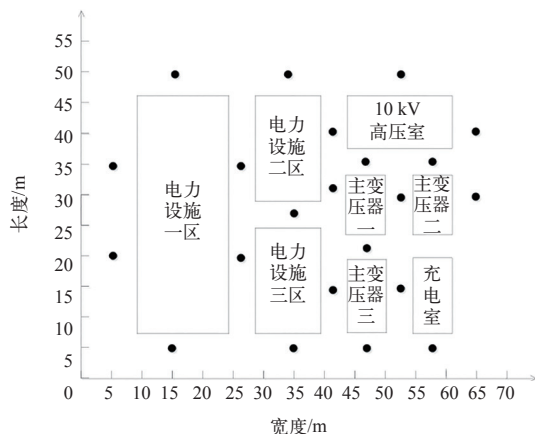


图6 平面坐标系中的变电站及巡视点图

通过Matlab仿真求解, 得出最优路径, 如图7所示。

Matlab仿真过程中, 设置相关参数如下。

1) 蚁群中蚂蚁的数量 $m=22$ (当 m 接近或等于巡视点个数 n 时, 本算法可以在最少的迭代次数内找到最优解)。

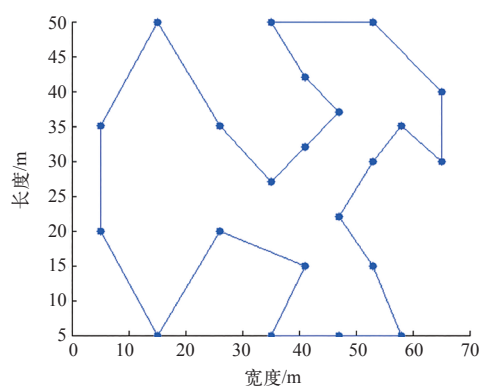


图7 通过蚁群算法找出的最优路径

2) 最大循环次数 $N_{c_max}=200$, 即算法迭代的次数。

3) 信息素因子为1 (蚂蚁在运动过程中所积累信息)。

4) 启发信息因子为2 (启发式因子在蚂蚁选择路径时的相对重要程度)。

5) 局部挥发系数的初值为0.2 (表示路径上信息素的衰减系数)。

图8为迭代200次中每次机器人巡检一圈路径的总长度。从图8中可以看出, 随着迭代次数的增加, 路径总长度越来越短, 迭代达到80次以上后, 最优距离趋近于270~275 m之间, 仿真过程中, 迭代500次后的值也在这个范围内, 由此可以确定本应用中的最优路径长度为273.9 m。

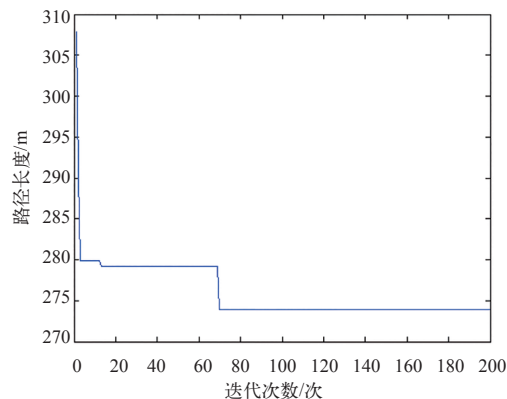


图8 迭代次数与路径长度的关系

4 结束语

对蚁群算法在变电站巡检导航中的应用进行了研究, 从信息素更新、启发函数和状态转移规则等方面来改进蚁群算法。通过某变电站的平

面图来模拟变电站巡视点,利用蚁群算法先找出巡检的最优路径,在最优路径的基础上布局反光板,实现变电站巡检机器人的激光导航。通过仿真分析,运用蚁群算法减少了搜索最短路径的时间,同时搜索到最优路径的成功率大,再结合激光导航,使得巡检机器人导航效果大大提升。

参考文献

- [1] 李强. 浅谈城区高压变电站对人体及环境的危害问题[J]. 大众科技, 2009(11): 133.
- [2] Goss S, Aron S, Deneubourg J L, et al. Self-organized shortcuts in the argentine ant[J]. Naturwissenschaften, 1989, 76(12): 579-581.
- [3] 胡艳. 基于激光导航路径识别的实验室自动引导小车 (AGV) 设计[J]. 装备制造技术, 2017(5): 19-21.
- [4] 肖鹏, 栾贻青, 郭锐, 等. 变电站智能巡检机器人激光导航系统研究[J]. 自动化与仪表, 2012(5): 5-9.
- [5] Wu Shaobin, Wang Xuwei, Geng Ruonan. Research on monitoring technique of intelligent vehicle based on laser scanner[C]. 2011 International Conference on Mechanical, Industrial, and Manufacturing Engineering, 2011: 1-2.
- [6] Meng Lixia, Sun Fuchun, Liu Huaping, et al. A fusion navigation of double laser radar for intelligent vehicle[C]. Advanced Materials Research, 2012, 346: 711-718.
- [7] 来学伟. 基于蚁群算法的TSP问题研究[J]. 佛山科学技术学院学报, 2017, 5(3): 72-74.
- [8] 田德伟. 基于蚁群算法的机器人路径规划研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.

(收稿日期: 2018-09-15) EA

广告 | AD

全新改版

色彩丰富 凸显主题

2019《电气应用》以鲜明色彩和新颖版式呈现精彩内容,力求赏心悦目。

栏目设置 独具风格

坚持继承与开拓并举,以丰富内涵充实经典栏目,持续深化专家访谈、EA经理人等栏目,密切关注电气技术的发展和应用。

专家点评 精辟深刻

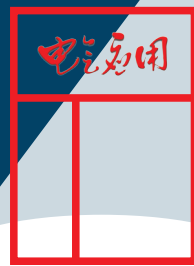
每期都将围绕一个热点话题,隆重推出一场专题讨论的盛宴,共邀知名专家、产品用户和生产厂家汇聚一堂,针对焦点问题作出评析。

行业案例 生动丰富

关注电力、建筑、石化和冶金等电气行业应用,以典型深刻的案例分析、方案设计构建技术互动的空间,促进应用经验交流。

国内邮发代号: 82-341 国外发行代号: M1409

每期定价: 25.00元 全年定价: 300.00元



· 电气应用 盛情呈现 ·

2019