

doi: 10.7690/bgzdh.2023.11.008

改进蚁群算法优化的密集装配路径规划

张玉杰¹, 高元楼¹, 李 铎², 兰治国², 韩 伟²

(1. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191;

2. 山西北方兴安化学工业有限公司科研二所, 太原 030000)

摘要: 为提高密集装配工艺作业效率, 针对其装配工艺建立数学模型, 得到装配过程中的多目标路径规划问题。根据轮盘赌原则对蚁群算法进行改进, 克服了算法容易陷入局部最优解问题并对装配轨迹进行优化。结果表明: 该规划探索出密集装配工艺的最优路径, 提高了装配工艺效率。

关键词: 密集装配; 蚁群算法; 轮盘赌; 路径规划

中图分类号: TJ410.5⁺2 **文献标志码:** A

Improved Ant Colony Algorithm for Dense Assembly Path Planning

Zhang Yujie¹, Gao Yuanlou¹, Li Duo², Lan Zhiguo², Han Wei²

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. No. 2 Scientific Research Institute, Shanxi North Xing'an Chemical Industry Co., Ltd., Taiyuan 030000, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of dense assembly process, this paper establishes a mathematical model for its assembly process, obtains the multi-objective path planning problem in the assembly process, improves the ant colony algorithm according to the roulette principle, overcomes the problem that the algorithm is easy to fall into the local optimal solution, optimizes the assembly trajectory, explores the optimal path of dense assembly process, and improves the efficiency of assembly process.

Keywords: dense assembly; ant colony algorithm; roulette; path planning

0 引言

某化工工艺需要进行自动化升级, 其中装配工艺环节涉及药管的密集装配, 装配工艺的工序设置决定了工艺的效率 and 成本, 而多目标位置密集装配的路径选择影响着装配作业的效率、设备操作的复杂程度以及伺服系统的控制精度和准确度等; 因此, 进行路径规划能够提升作业效率, 简化设备结构, 降低伺服控制难度。蚁群算法是具有基于分散自组织系统集体行为的人工智能, 早期被应用于求解 TSP 问题^[1]。蚁群算法有陷入局部最优解的局限性。笔者引入轮盘赌规则, 能有效避免陷入局部最优, 可用于装配求解密集装配过程中的路径规划问题。

1 密集装配工艺简介

某药管的密集装配工艺需要将 69 根管状物插入固定架, 如图 1 所示。固定架上有 69 个直径为 7.4 mm 的圆孔, 管状物直径为 7.0 mm。

2 装配工艺数学模型

管状物插入装置固定, 数控伺服平台驱动固定架在平面内基于直角坐标系位移, 使得每次位移后

固定架的孔对准插入装置。为提高装配工艺效率, 需要在遍历所有孔的移动路径中, 找到用时最短的路径。

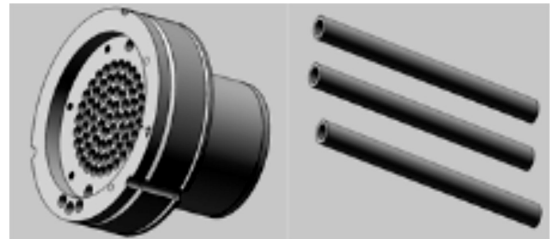


图 1 管状物与固定架

将固定架上的孔坐标化, 如图 2 所示。

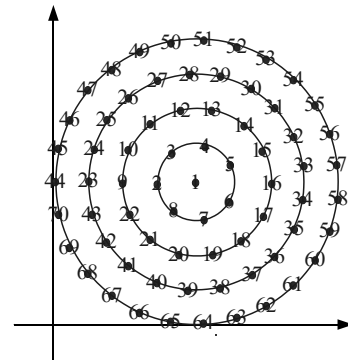


图 2 固定架孔坐标化

收稿日期: 2023-07-15; 修回日期: 2023-08-13

第一作者: 张玉杰(1996—), 男, 甘肃人, 硕士。

假设数控伺服平台运动为匀速直线运动，则整个规划的数学描述为：

$$D = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d(i, j) * X_{i,j} \quad (1)$$

式中： D 为数控伺服平台位移路径总长度； N 为固定架上目标孔个数； $d(i, j)$ 为固定架上目标孔 i 和 j 之间的距离，该距离根据固定架尺寸为已知参数； $X_{i,j}$ 是一个二元决策变量，其数学表达式如下：

$$X_{i,j} \begin{cases} 1, & \text{if } (i, j) \in L \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

式中 L 为规划出的距离最短路径，用数组来表示。

为保证每个目标孔只有一次被一次切，必须满足以下约束条件：

$$\text{s.t: } \sum_{j=1}^N X_{i,j} = 1, \sum_{i=1}^N X_{i,j} = 1, \sum_{i,j \in L} X_{i,j} = |L| \quad (3)$$

式中 $|L|$ 为路径 L 中元素的个数，除去最后返程， $|L|=N$ 。

这样的路径规划问题为“经典旅行商问题”，蚁群算法可以很好地解决旅行商问题。

3 蚁群算法

蚁群算法其灵感来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现最优路径的行为，具有分布计算、信息正反馈和启发式搜索的特征，实际上是进化算法中的一种启发式全局优化算法^[2]。在寻找食物的过程中蚂蚁会分泌大量信息素，信息素分泌的多少与路径长度成反比，而蚂蚁在选择路径时会根据状态转移概率以较大概率选择信息素多的路径^[3]，具体过程如图 3 所示。

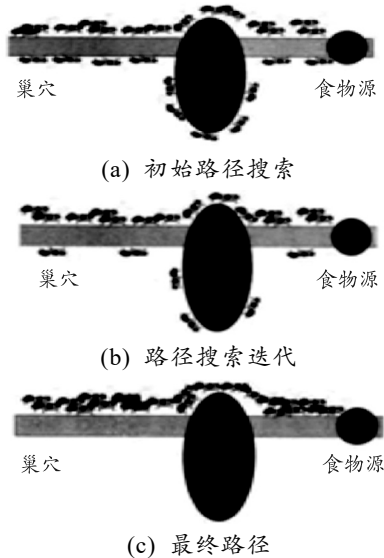


图 3 蚁群算法

由蚁群算法具体过程可知，蚁群算法为基于概率的正反馈搜索算法，蚁群算法表达式如下^[4-5]：

$$P_{i,j}^k [t] = \frac{(\tau_{i,j}(t))^\alpha \times (\eta_{i,j}(t))^\beta}{\sum_{h \in \text{tabu}_k} (\tau_{i,j}(t))^\alpha \times (\eta_{i,j}(t))^\beta}, j \notin \text{tabu}_k \quad (4)$$

$$\tau_{i,j}(t+1) = \rho \times \tau_{i,j}(t) + (1-\rho) \times \Delta \tau_{i,j}(t) \quad (5)$$

$$\eta_{i,j}(t) = 1/d_{i,j} \quad (6)$$

$$\Delta \tau_{i,j}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{i,j}^k(t) \quad (7)$$

$$\Delta \tau_{i,j}^k(t) = Q/L_k \quad (8)$$

式中： $P_{i,j}^k$ 为第 k 只蚂蚁搜索过程中从当前节点 i 移动到下一节点 j 的概率； $\tau_{i,j}(t)$ 为节点 i 和节点 j 之间的信息素含量；式(5)为信息素的更新规律； $\eta_{i,j}(t)$ 为启发函数； α 为信息素启发因子，其值越大表示蚂蚁越倾向于走其他蚂蚁走过的路径； β 为期望值启发因子，其值越大蚂蚁越可能选择局部最优的路径； tabu_k 为禁忌表，代表已经走过的路径； ρ 为信息素挥发系数， $\rho \in (0-1)$ ；相应的 $1-\rho$ 为信息素残留系数； $\Delta \tau_{i,j}(t)$ 为 m 只蚂蚁完成一次搜索后遗留在节点 i 至节点 j 路径上的信息素； $\Delta \tau_{i,j}^k(t)$ 为第 k 只蚂蚁完成一次搜索留下的信息素。

4 改进蚁群优化算法

蚁群算法容易陷入局部最优解，为克服这一缺点将轮盘赌引入蚁群算法。轮盘赌原则是每当选择下一节点时，不是单纯的按照概率大小去选择，而是引入轮盘赌原则。轮盘赌的概率分布示意如图 4 所示。

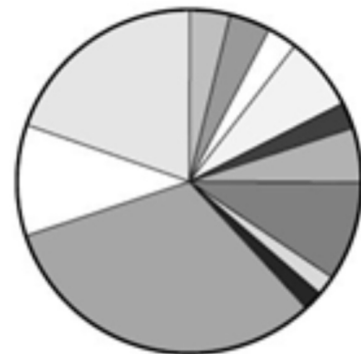


图 4 轮盘赌

轮盘赌规则使得每一个节点都在理论上被选中的概率，根据蚁群算法计算从节点 i 移动到节点 j 的概率不同，被选中概率的节点如上图所示的不同面积大小的扇形。通过轮盘赌规则选中出下一次

移动的目标节点就相当于转动轮盘。改进后的蚁群优化算法如图 5 所示。

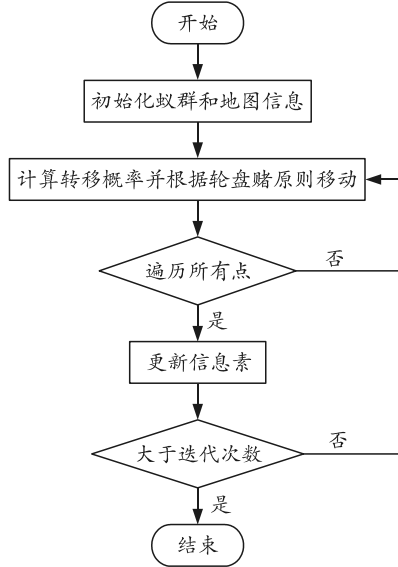


图 5 改进后的蚁群优化算法

设定 $\alpha=2$, $\beta=5$, $\rho=0.5$, $Q=200$, 经过多次运行改进后的蚁群算法, 选出其中最优的结果作为路径规划的结果。采用改进蚁群算法进行路径规划得出的最优结果如表 1 所示。

表 1 改进蚁群算法规划结果

次数	路径长度/mm	路径
1	531.864 022	69 68 67 66 65 64 63 62 61 60 59 58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 22 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 8 7 6 5 4 3 2 1
		1 2 3 4 5 6 7 8 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 22 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69

由上表可知, 得出的最短路径有 2 种规划方案: 起始点可以从设定点 69 开始, 也可以从设定点 1 开始。考虑到实际加工中, 固定架最中心孔加工精度最高, 所以从设定点 1 起始, 数控伺服平台的运行轨迹如图 6 所示。

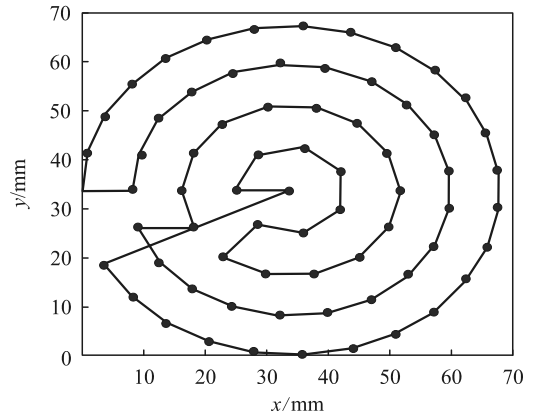


图 6 数控伺服平台运行轨迹

上图的规划路径在“十三五”国防科研某项目中进行演示验证, 达到了药管密集装配的指标要求。

5 结束语

笔者对药管密集装配工艺进行分析, 确定了其数学模型为 TSP 问题, 采用改进蚁群算法进行求解, 通过轮盘赌规则增加蚁群算法中各路径被选中的概率, 解决了蚁群算法容易陷入局部最优的问题。最终规划出了药管密集装配工艺的最优平台位移轨迹, 提高了装配工艺的效率。

参考文献:

- [1] 赵鑫, 杨雄飞, 钱育蓉. 改进的蚁群优化算法求解旅行商问题[J]. 计算机工程与设计, 2022, 43(4): 962-968.
- [2] 刘泽, 金世俊, 王庆. 基于改进蚁群算法的机器人二维路径规划[J]. 传感器与微系统, 2020, 39(10): 149-152.
- [3] SUN Y, DONG W, CHEN Y. An Improved Routing Algorithm Based on Ant Colony Optimization in WirelessSensor Networks[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(6): 1317-1320.
- [4] 邱莉莉. 基于改进蚁群算法的机器人路径规划[D]. 上海: 东华大学, 2015.
- [5] 魏士伟. 一种求解 TSP 问题的协同进化算法[J]. 智能计算机与应用, 2019, 9(5): 25-29.