

# 基于改进蚁群算法的钻井救援车辆路径规划<sup>①</sup>



徐英卓<sup>1</sup>, 李 凯<sup>1</sup>, 周 俊<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(西安石油大学 计算机学院, 西安 710065)

<sup>2</sup>(山脉科技股份有限公司, 西安 710075)

通信作者: 徐英卓, E-mail: yzhxu@xsyu.edu.cn

**摘 要:** 为了解决救援车辆路途时间过长导致钻井事故应急救援不及时的问题, 提出一种基于改进蚁群算法的钻井救援车辆路径规划方法. 首先针对基本蚁群算法易陷入局部最优, 且在求解转移概率时仅依据信息素含量和路径长度, 未考虑实际路网中影响道路通行的外界因素等不足, 通过引入路径权重因子和改进路径选择策略, 对基本蚁群算法进行了改进; 然后利用改进的蚁群算法, 以用时最少为目标建立了救援车辆路径规划模型; 最后进行了救援车辆路径规划仿真实验和实际应用测试, 结果表明本文提出的方法可以合理规划出一条全局最优的救援路径, 能有效地解决钻井救援车辆路径规划问题.

**关键词:** 蚁群算法; 钻井救援; 路径规划; 最优路径; 状态转移概率

引用格式: 徐英卓, 李凯, 周俊. 基于改进蚁群算法的钻井救援车辆路径规划. 计算机系统应用, 2022, 31(4): 268–272. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8442.html>

## Path Planning of Drilling Rescue Vehicle Based on Improved Ant Colony Algorithm

XU Ying-Zhuo<sup>1</sup>, LI Kai<sup>1</sup>, ZHOU Jun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Computer, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

<sup>2</sup>(Mountain Range Technology Co. Ltd., Xi'an 710075, China)

**Abstract:** To solve the problem of the belated emergency rescue against drilling accidents caused by the long journey time of rescue vehicles, this study proposes an improved ant colony algorithm for the path planning of drilling rescue vehicles. Firstly, in view of the deficiencies that the basic ant colony algorithm tends to fall into the local optimum, and the transition probability is calculated only depending on pheromone content and path length without the consideration of external factors affecting road traffic in the actual road network, the study improves the basic ant colony algorithm by introducing path weight factors and optimizing path selection strategies. Then, the improved ant colony algorithm is employed to establish a path planning model for rescue vehicles with the least time as the goal. Finally, simulation experiments and practical application tests are carried out on the path planning of rescue vehicles. The results of experiments and tests show that the proposed method can reasonably plan a global optimal rescue path, which thus effectively solves the path planning problem of drilling rescue vehicles.

**Key words:** ant colony algorithm; drilling emergency rescue; path planning; optimal path; state transition probability

## 1 引言

钻井过程存在着大量复杂和不确定性因素, 钻井事故随时都有可能发生. 当事故发生时, 及时地进行应

急救援十分必要. 要使救援人员和物资尽可能最快地到达待救援事故点, 合理地规划最优救援路径尤为重要. 传统的路径规划算法 (如 Dijkstra 算法、A\*算

<sup>①</sup> 基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划 (2019JM-383)

收稿时间: 2021-06-25; 修改时间: 2021-07-29, 2021-08-12; 采用时间: 2021-08-17; csa 在线出版时间: 2022-03-22

法)存在计算效率低、易陷入局部最优等缺点.近年来,随着各种基于生物学的智能算法的出现,蚁群算法在路径规划领域中得到应用.蚁群算法是一种适于解决组合优化问题的启发式搜索算法,但当问题规模较大时易陷入局部困境<sup>[1]</sup>.为此,学者们对该算法进行改进,如徐坤等<sup>[2]</sup>将信息素挥发因子采用莱维飞行模式更新,提高了算法的全局寻优能力;王帅等<sup>[3]</sup>将蚁群算法与遗传算法结合,改进算法参数信息,提高了搜索范围的多样性,但收敛速度有待改善.当前,针对蚁群算法在救援车辆路径规划方面的应用研究还不够完善,大多是针对多个救援点组合优化支援单个受灾点,未综合考虑实时路况、天气等因素对救援路径选择的影响.而对于突发情况下的钻井应急救援,通常待救援点不止一个,且油田井场路网复杂,直接利用基本蚁群算法进行救援车辆路径规划时会存在一定的局限性,因此,本文提出基于改进蚁群算法的钻井救援车辆路径规划研究,旨在为钻井事故应急救援规划出最优的物资配送路径,以提高应急救援效率.

## 2 基于改进蚁群算法的路径规划算法

### 2.1 蚁群算法基本原理及数学模型

蚁群算法是从蚂蚁觅食的群体行为启发而得出<sup>[2]</sup>,蚁群在觅食过程中会在其走过的路径上留下一种信息素<sup>[4]</sup>,而蚂蚁群体总是倾向在信息素浓度高的路线上觅食,相同时间内较短路径上的信息素含量最高,因此蚁群能准确找到食物与巢穴之间的最短路径.蚁群算法的数学模型通常借助 TSP 问题进行描述<sup>[5]</sup>.

蚂蚁  $k(k=1, 2, \dots, m)$  在运动过程中,根据各条路径上的信息量及路径的启发信息来计算状态转移概率.在  $t$  时刻,蚂蚁  $k$  由城市  $i$  转移到城市  $j$  的状态转移概率  $p_{ij}^k(t)$  定义为<sup>[6]</sup>:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in allowed_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $allowed_k$  表示蚂蚁  $k$  下一步允许选择的的城市,  $\tau_{ij}(t)$  为城市  $i$  到  $j$  的信息素含量;  $\eta_{ij}(t)$  为启发函数,与路径长度成反比,即  $\eta_{ij}(t) = 1/d_{ij}$ ;  $\alpha$  为信息素在路径选择中的重要度;  $\beta$  为启发信息的重程度.蚂蚁积累的信息素越多,  $\tau_{ij}(t)$  越大,路径越短,  $\eta_{ij}(t)$  越大,则蚂蚁选择该路径的概率  $p_{ij}^k(t)$  越大.

### 2.2 改进蚁群算法

基本蚁群算法在求解转移概率时仅依据路径上的信息素含量和路径长度,未考虑外界影响因素,如天气、道路拥堵及道路等级等;另外,蚂蚁搜索最优解时根据信息素浓度进行状态转移,若刚开始某路径上累积较多信息素,蚂蚁会大概率选择该路径,但此路径不一定最优,从而导致陷入局部最优.为此本文在救援路径规划时,对蚁群算法进行以下两方面的改进:

#### (1) 对转移概率的改进

在实际救援路径选择时,有的路径虽短,但由于道路狭窄不平或拥堵等,通过该路径所需时间反而较长,因此,要想规划出一条用时最短的救援路线,还需考虑影响车辆通行时间的外界因素,包括天气、道路拥堵及道路等级.而这些因素对车辆通行的影响程度(即权重)各不相同,为此本文利用层次分析法(AHP)确定它们的权重<sup>[7]</sup>.先将层次结构分为目标层  $Z$  和准则层  $A$ ,设目标层的路径权重为  $W_{ij}$ ,准则层各指标为:道路长度、交通流量、道路等级和天气状况,它们对于目标层的权重分别为:  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 、 $w_4$ ,见图 1.

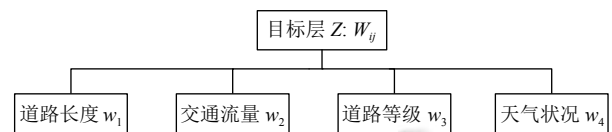


图 1 路径权重层次分析模型

为计算权重系数  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 、 $w_4$ ,根据文献[7]的数据和决策者经验判断,构造判断矩阵  $A$ ,见表 1.

表 1 判断矩阵

Z	A1	A2	A3	A4
A1	1	3	5	4
A2	1/3	1	1	1
A3	1/5	1	1	2
A4	1/4	1	1	1

利用 Matlab 编程计算得到矩阵的最大特征值  $\lambda_{max}$  为 4.0247,对应的特征向量  $W$  为 (0.9146, 0.2495, 0.2192, 0.2305),经归一化处理后为 (0.5667, 0.1546, 0.1358, 0.1428),通过一致性检验后,可计算出整个网络中各条路径的权重值:

$$W_{ij} = \frac{s}{v} \times (w_1 + w_2 \times \varphi + w_3 \times f + w_4 \times w)$$

其中,  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 、 $w_4$  为准则层各因素对目标层的权重系数,  $s$  为道路长度,  $v$  为道路设计的平均时速;  $\varphi$  为

交通流量, 将当前流量与设计的流量作比较, 取值为  $[0, 1]$  的实数;  $f$  为道路等级, 依据道路设计时速、红绿灯数、适应的交通量划分为 5 个等级, 赋值为  $(0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0)$ ;  $w$  为天气状况, 表示车辆行驶的适宜度, 取值为  $[0, 1]$  内实数.

将权重值引入式 (1) 中, 得状态转移概率为:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta [w_{ij}(t)]^\lambda}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta [w_{is}(t)]^\lambda}, & \text{若 } j \in allowed_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $w_{ij}(t)$  为路径  $(i, j)$  在  $t$  时刻的权重值,  $\lambda$  为权重指数, 根据实际情况和具体要求确定.

(2) 对选择路径的策略进行改进

为避免蚂蚁一开始选择路径就陷入局部最优, 改进其选择路径的策略: 为蚂蚁设置一个绝对感觉阈限  $q_0$ , 若路径上信息素的刺激量达到  $q_0$ , 蚂蚁才选择该路径, 否则忽略. 这样蚂蚁在初始阶段不会集中于某些路径, 会选择较多不同路径, 从而在一定程度上削弱算法陷入局部最优的趋势.

第  $k$  只蚂蚁按式 (3) 的概率从状态  $i$  转至  $j$ :

$$j = \begin{cases} \max\{\tau_{is}^\alpha \cdot \eta_{is}^\beta \cdot w_{is}^\lambda\}, s \in allowed_k, & \text{若 } q \leq q_0 \\ \text{依概率 } p_{ij}^k \text{ 选择 } j, & \text{否则} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $q_0 \in (0, 1)$ ,  $q$  是  $(0, 1)$  均匀分布的随机数.

### 2.3 基于改进蚁群算法的救援车辆路径规划

现实中钻井救援车辆路径规划问题很复杂, 为便于求解, 本文对有些问题进行了简化: (1) 只有一个救援中心, 救援车完成救援后都回到救援中心, 等待下一次救援; (2) 仅考虑救援车路上的行驶时间, 不考虑为事故点服务的时间. 设事故点 (即待救援点) 个数为  $n$ , 救援中心有  $m$  辆型号相同的车, 由于救援对时间要求

高, 因此目标函数是求救援点到达所有事故点用时最少的行驶路线, 定义为:

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m t_{ijk} \quad (4)$$

其中,  $t_{ijk}$  表示车辆  $k$  经过路径  $(i, j)$  的时间. 考虑到影响道路通行的天气、道路状况等外界因素, 在求解时本文使用当量长度  $D_{ij}$  代替实际路径长度  $d_{ij}$ , 其定义为:

$$D_{ij} = (1 + f_{ij} + \varphi_{ij} + w_{ij}) \times d_{ij} \quad (5)$$

其中,  $f_{ij}$ 、 $\varphi_{ij}$ 、 $w_{ij}$  分别表示道路状况、交通状况、天气情况等因素对救援路径选择的影响. 其影响程度系数  $\gamma$  的计算方法为: 设考虑和不考虑某影响因素时通过路径  $(i, j)$  的时间分别为  $T_{ij}$ 、 $t_{ij}$ , 则:

$$\gamma = \frac{T_{ij} - t_{ij}}{t_{ij}} \quad (6)$$

假设当前路段  $(i, j)$  车辆所占车道的交通流量为  $\varphi$ , 其理想流量为  $\phi_{ij}$ , 当前车辆行驶速度为  $v$ , 则当前路段上平均行车速度为:  $v_{ij} = v \times \frac{\varphi}{\phi_{ij}}$ , 因此行驶时间为:  $t_{ij} = \frac{D_{ij}}{v_{ij}}$ .

由于本文路径规划的目标函数是求取救援时间最少的路径, 因此利用蚁群算法求转移概率时,  $t$  时刻蚂蚁  $k$  从节点  $i$  转移到节点  $j$  的启发函数为:

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{t_{ij}} \quad (7)$$

### 3 仿真实验

为了验证本文所提出的路径规划算法的有效性, 采用 Matlab 编程实现该算法并进行如下实验: 建立有 12 个节点的路网, 节点 0 为救援中心, 节点 1~节点 11 表示各事故点, 现救援车需从节点 0 将物资运送到各事故点进行救援, 各事故点的坐标及其物资需求量见表 2.

表 2 各事故点坐标及其物资需求量表

事故点编号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
横坐标 $x$	60	49	22	97	6	62	33	85	88	89	24	47
纵坐标 $y$	40	58	46	46	29	80	89	4	61	91	13	78
需求量 $(t)$	0	0.20	0.24	0.18	0.26	0.06	0.62	1.43	0.64	0.25	1.92	0.24

蚁群算法相关参数设置为: 蚂蚁数量  $m=20$ ,  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ , 权重指数  $\lambda=2$ , 通过求解得到最优路径规划结果和每次迭代的最短路径见图 2, 其最优路径为:

$0 \rightarrow 3 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 0$ ;  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 11 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 0$ ;  
 $0 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 0$ , 救援路径全长为: 498.8.

若采用基本蚁群算法进行救援路径规划 (见图 3),

通过求解得到的最优路径为:

0→3→8→9→5→11→1→0; 0→6→2→4→10→0;  
0→7→0, 救援路径全长为: 451.3.

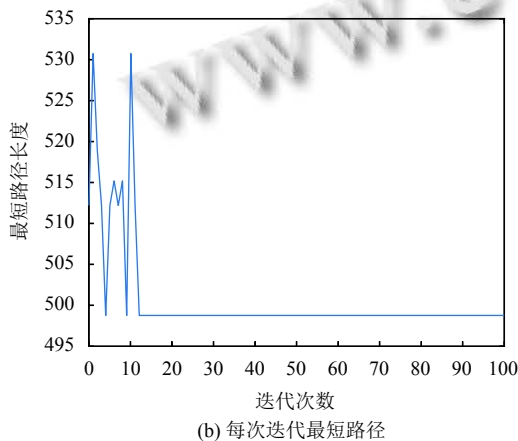
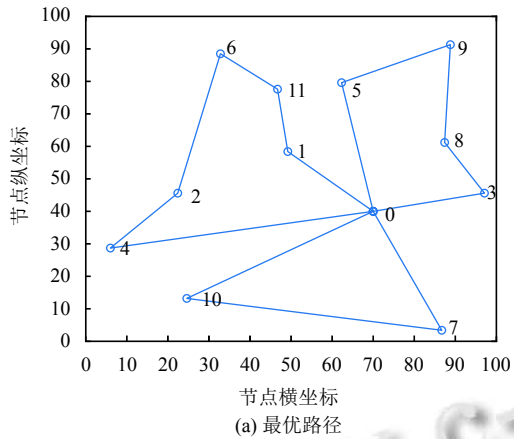


图2 改进蚁群算法的最优路径规划和每次迭代的最短路径长度

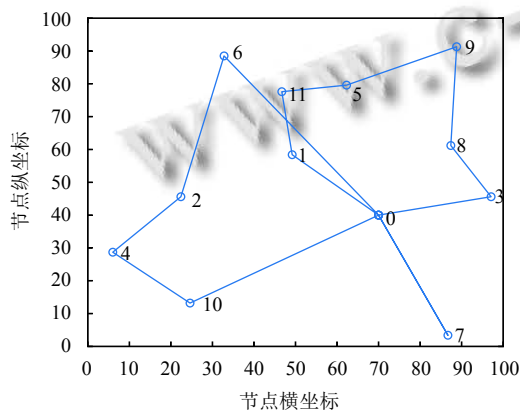


图3 基本蚁群算法的路径规划结果

从以上结果可以看出: 利用改进的蚁群算法进行路径规划得到的救援路径总长度比基本蚁群算法得到

的路径总长度有所增加, 但前者考虑了真实路网中影响车辆运行时间的外界因素(如天气、交通流量等), 其路径更切合实际, 且算法在收敛速度、最优解的搜索空间方面都有较大的提高, 从而使实际上完成救援物资配送所需的总时间更短.

#### 4 应用实例

我们结合所承担的陕西省自然科学研究计划项目“基于物联网的油田事故灾难应急救援向导式动态管理方法研究”, 依据本文提出的路径规划方法, 开发了“油田事故应急救援物资配送路径规划系统”, 并选择了XX油田发生过多次事故的典型区块对系统进行了应用测试. 以XX油田的典型钻井区块为例, 事故点分别为YC\_101、YC\_102、YC\_103、YC\_104、YC\_105、YC\_106、YC\_107、YC\_108、YC\_109、YC\_110, 其位置分布见图4, 救援中心用·标注, 事故点用0表示, 设各事故点救援物资需求量(单位为 $t$ )分别为0.2、1.2、1.5、0.6、0.7、1.6、0.4、0.7、1.3、0.6, 利用本文算法求出的最优救援路径(见图4不同颜色标注)为:

① 救援中心→YC\_107→YC\_103→YC\_102→YC\_101→YC\_106→救援中心

② 救援中心→YC\_109→YC\_110→YC\_105→YC\_104→YC\_108→救援中心

根据以往该区块的事故救援情况, 上述路径规划结果与实际路网相符.



图4 最优救援物资配送路径规划图

#### 5 结论

利用改进蚁群算法进行钻井救援车辆路径规划的方法, 不仅保留了基本蚁群算法的优点, 还克服了它易陷入局部最优的缺点, 同时由于考虑了影响道路通行

的外界因素,使整个算法具有更强的实用性.通过仿真实验与应用测试表明,该路径规划方法能满足油田钻井应急救援应用要求.

#### 参考文献

- 1 贺智明,郑丽,梁文.基于自适应动态搜索蚁群算法的车辆路径规划.计算机工程与设计,2021,42(2):543-551.
- 2 徐坤,陈志军,闫学勤.基于莱维飞行的改进蚁群算法求解TSP问题.计算机工程与设计,2019,40(1):245-249.
- 3 王帅,蒋华伟.遗传-蚁群算法在灾后应急物资路径规划问题中的应用研究.计算机应用与软件,2018,35(9):99-103,131.
- 4 张晓莉,杨亚新,谢永成.改进的蚁群算法在机器人路径规划上的应用.计算机工程与应用,2020,56(2):29-34.
- 5 Ebadinezhad S. DEACO: Adopting dynamic evaporation strategy to enhance ACO algorithm for the traveling salesman problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2020, 92: 103649.
- 6 赵静,汤云峰,蒋国平,等.基于改进蚁群算法的移动机器人路径规划.南京邮电大学学报(自然科学版),2019,39(6):73-78.
- 7 杨福兴,王菲.基于改进蚁群算法的突发事件后应急物资的配送路径规划问题的研究.物流工程与管理,2016,38(11):88-89,101.