

城市交通网络中救援车辆路径优化研究

闫俊霞¹, 王双友², 张 明¹, 张建峰¹

(1.邯郸学院地理系, 河北 邯郸 056005;

2.邯郸学院软件学院, 河北 邯郸 056005)

✉yanyantougaogao@126.com; wsyhdc@163.com; 157186236@qq.com; zjfdlx@163.com



摘 要: 道路中断、可靠性差等路径选择问题从根本上影响了救援工作的效率, 针对这一现状, 设计了基于MATLAB的应急救援车辆最优路径模型。依托城市交通路网的数据, 通过层次分析法确定影响应急救援的因素, 利用MATLAB蚁群算法结合ArcGIS平台构建城市路网要素, 定位应急设施及求解应急救援车辆路径优化结果。通过实例分析改变要素信息时, 救援路径结果与效率的差别, 客观评估城市应急救援能力, 为城市交通救援车辆的路径优化提供可行性助力。

关键词: 应急救援; 蚁群算法; MATLAB; AHP

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A

Research on Route Optimization of Rescue Vehicles in Urban Traffic Networking

YAN Junxia¹, WANG Shuangyou², ZHANG Ming¹, ZHANG Jianfeng¹

(1. Department of Geography, Handan College, Handan 056005, China;

2. School of Software, Handan College, Handan 056005, China)

✉yanyantougaogao@126.com; wsyhdc@163.com; 157186236@qq.com; zjfdlx@163.com

Abstract: Road interruptions, poor reliability and other route selection problems fundamentally affect rescue work efficiency. Aiming at these problems, this paper proposes to design an optimal route model for emergency rescue vehicles with MATLAB (Matrix & Laboratory), based on data from urban traffic road network. Hierarchical analysis method is used to determine the factors affecting emergency rescue. MATLAB ant colony algorithm and ArcGIS platform are used to construct urban road network elements, emergency facility positioning and solving emergency rescue vehicle route optimization results. Through real case analysis, the proposed model can analyzes rescue route results and efficiency differences when changing the element information, objectively evaluate urban emergency rescue capacity, which provides feasibility for the route optimization of urban traffic rescue vehicle.

Keywords: emergency rescue; ant colony optimization algorithms; MATLAB; AHP

1 引言(Introduction)

近年来, 世界各国突发事件频发, 造成巨大的经济损失与空前灾难, 给应急救援部门提出了巨大的挑战。在事故发生时, 救援队伍的路线信息不能快速合理地确定, 导致贻误了宝贵的救援时间, 造成人员、财产的重大损失^[1]。应急资源调度车辆路径分析可以从整体上提高城市道路交通应急救援的效率与应急管理水平。应急资源调度最优路径选择将丰富道路应急救援理论, 应用到应急资源的调配方案决

策中, 得出正确判断并综合考虑阻抗因素建立道路权重, 在最短时间内确定救援路径, 使得应急资源最快地到达救援现场, 以减少因路径选择错误而耽误的救援时间。本文以城市道路网络应急救援车辆管理为背景, 利用蚁群算法、ArcGIS路网分析寻求最优路径结果, 讨论突发因素干扰下的最优路径分析, 并通过案例分析救援车辆的最优路线, 建立基于GIS的实时、动态应急路线调度, 实现突发事件发生后的应急救援车辆路线选择。

2 车辆路径优化方法(Vehicle routing optimization method)

2.1 蚁群算法的基本原理

蚁群算法属于仿生优化算法，可以通过蚂蚁分泌的信息素来寻找路径。当时间发生变化时，信息素持续减弱甚至消失，出现信息素强度不同的路径，蚂蚁会选择前面蚂蚁所留下的信息素浓度较大的路径行走，这样蚂蚁就不会随机地选择路径，方便蚂蚁找到食物所在地，最后得到一条到达食物所在地的最优路径^[2]。蚁群算法原理如图1所示。

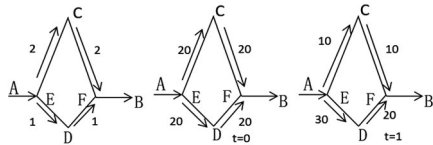


图1 蚁群算法原理

Fig.1 Principle of ant colony algorithm

2.2 AHP分析法

通过AHP对应急救救援路径进行因子权重赋值。分析影响研究区城市交通应急救援的因素，选取路径距离、道路容量、交通状态、路口停滞、天气状况五个影响因素为准则层^[3]，目标层为路径权重 W_i 。各准则层对于目标层的权重为： W_1 (路径距离)、 W_2 (道路容量)、 W_3 (交通状态)、 W_4 (路口停滞)、 W_5 (天气状况)。

3 案例分析(Case analysis)

3.1 研究区路网数据集的建立

对邯郸市城市道路矢量化，研究区路网如图2所示，显示了各级路线要素，并保证路线的连通性。ArcGIS软件拓扑工具建立点要素，展示研究区道路相交节点。

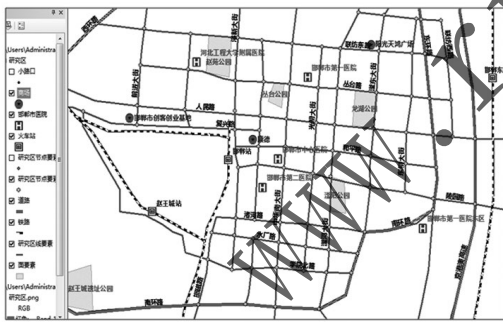


图2 研究区路网图

Fig.2 Road network map of the study area

构建研究区医院分布图，选取研究区三级甲等医院进行标注，如图3所示。车祸事故发生点在邯郸市联防西路与东柳大街交叉口，指挥中心派遣专科三级甲等中心医院对伤员进行救助。

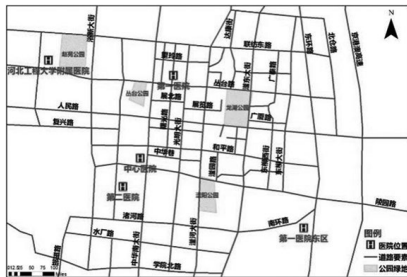


图3 医院分布图

Fig.3 Distribution map of hospitals

3.2 层次分析法确定路阻因素权重

层次分析法构造判断矩阵^[4]，选取路网因素指标取值如表1所示。

表1 层次分析法标度

Tab.1 Analytic hierarchy process scale

标度	含义
1	表示两个元素相比，同等重要
3	表示两个元素相比，前者比后者略重要
5	表示两个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比，前者比后者非常重要
9	表示两个元素相比，前者比后者极其重要
2、4、6、8	表示相邻元素判断中间值
以上数字的倒数	表示两个元素相比，前者比后者不重要的上述描述

判断矩阵中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 分别代表路径距离、道路容量、交通状态、路口停滞、天气状况五个因素^[5-7]，如表2所示。 RI 平均随机一致性指标如表3所示。

表2 判断矩阵

Tab.2 Judgment matrix table

因素	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	1	1/3	1	3	5
C_2	3	1	3	5	7
C_3	1	1/3	1	3	5
C_4	1/3	1/5	1/3	1	3
C_5	1/5	1/7	1/5	1/3	1

表3 RI 平均随机一致性指标

Tab.3 Table of average random consistency index

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41

经计算， $\lambda_{\max}=5.1269$ ， $CI=0.0317$ ， $CR=0.03<0.1$ ，所求各个因素权重为 $W_1=0.22$ 、 $W_2=0.41$ 、 $W_3=0.22$ 、 $W_4=0.11$ 、 $W_5=0.04$ 。通过以上层次分析权重计算，得到五个影响因素的权重^[8]，利用五个因子权重计算研究区道路网络各路径的权重 W ，如下式所示：

$$W = \frac{s}{v} + \frac{s/v}{w_1} (W_2 \times z + W_3 \times e + W_4 \times p + W_5 \times f)$$

式中， W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 是各个影响因子权重值； s 为车辆到事故应急点的实际距离^[9]； v 为车辆到事故应急点的平均速度； s/v 为路径参数，可以根据研究区路网模型的实际情况设定； z 为交通状态参数值，按照交通拥堵状况不同可以划分为五个等级，根据计算结果构建研究区道路节点权重拓扑图，如图4所示。

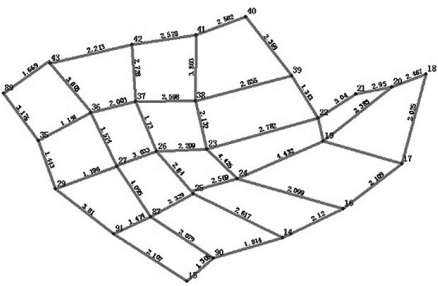


图4 道路权重拓扑图

Fig.4 Road weight topology map

4 MATLAB最优路径分析(MATLAB optimal path analysis)

4.1 初始路径结果分析

(1)不考虑实际因素对救援路径的影响,根据路段的实际长度,救护车救援最优路径为89—43—42—37—38—39—22—19—20—18,即K—X—Z—R—T—Y—I—F—H—E。救护车救援最优路径结果、路线图及收敛图如图5所示。从图5中可以看出,蚁群算法收敛很快,收敛曲线从0.105降到0.095左右,收敛范围小,且曲线斜率较大,出现先陡后平直的趋势。迭代中曲线的曲折比较多,说明收敛不稳定,收敛范围比较小,出现局部最优。

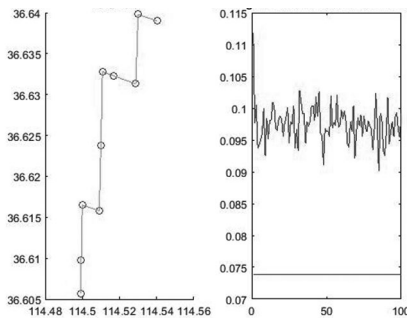


图5 未引入权重的路径图

Fig.5 Route map without weight

(2)基于交通状态的因素赋权对救援车辆路径的影响,对蚁群算法进行赋权后救护车救援最优路径为89—43—42—41—40—39—22—19—17—18,即K—X—Z—J—S—Y—I—F—D—E。MATLAB蚁群计算过程图如图6所示。

图6中,蚂蚁迭代100次,但是最短距离由0.09左右急速收敛,先陡后趋平,收敛曲线斜率较大。在迭代过程中,平均路线的变化密度减小,说明在考虑实际情况后,蚂蚁搜索范围有所扩大,收敛趋势趋于平稳。

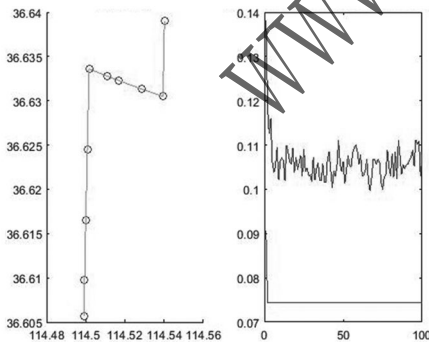


图6 引入交通状态的路径图

Fig.6 Route map with traffic status

4.2 不同参数设定分析

(1)在蚁群算法中,蚂蚁个数增多,对全局搜索能力和精度有一定的提高,但同时又会出现收敛减缓的情况,减弱信息的正反馈作用。为了可以选取合适的蚂蚁数量,将参数进行如下设置: $m=50$, $\alpha=1$, $\beta=0.6$, $\rho=0.7$, $Q=10$, $N_{\max}=100$,分别选择蚂蚁数目为15、50、80、100进行仿真,运行结果如图7所示。

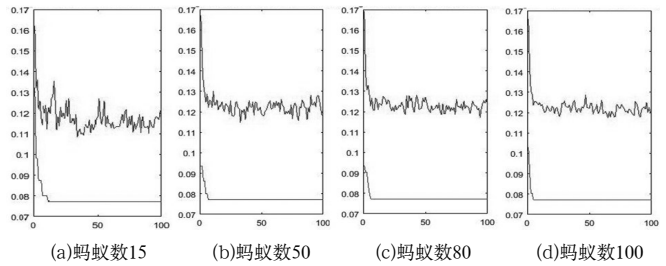


图7 蚂蚁数目对算法影响图

Fig.7 Influence of ant number on algorithm

由图7可见,随着蚂蚁数量的增多,信息的正反馈作用减弱,迭代次数减少,迭代曲线曲折度减少,收敛趋势趋于平均化。

(2)在蚁群算法中,信息挥发系数对信息素增减有着重要的影响,直接关系到算法的搜索范围和收敛速度。为了探求合理的信息挥发系数,设 $m=50$, $\alpha=1$, $\beta=0.6$, $Q=10$, $N_{\max}=100$,对信息挥发系数0.2、0.4、0.6、0.8进行仿真,仿真结果如图8所示。

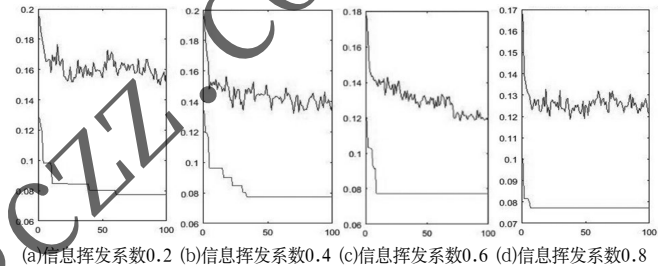


图8 信息挥发系数对算法的影响图

Fig.8 Influence of information volatilization coefficient on algorithm

由图8可以看出,随着信息挥发系数的增加,算法的收敛速度加快,迭代次数减少。收敛曲线由0.2—0.14变为0.17—0.12,可见收敛幅度增加,并且随着信息挥发系数的增大,收敛曲线波动逐渐减少,算法运行更加平稳。

(3)启发系数和期望启发系数会影响蚂蚁路径的选择。启发系数越大,对已遍历过的路径选择概率越大,期望启发系数这时对更近点的选择有很大影响。对启发系数进行仿真,设 $\beta=0.6$, $\rho=0.7$, $Q=10$, $N_{\max}=100$,启发系数依次为0.4、0.8、1.2、2,仿真结果如图9所示。对期望启发系数进行仿真,设 $m=50$, $\alpha=1$, $Q=10$, $N_{\max}=100$,期望启发系数为0.2、0.4、0.6、0.8,仿真结果如图10所示。

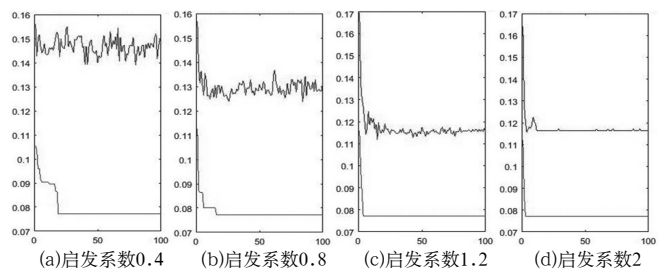
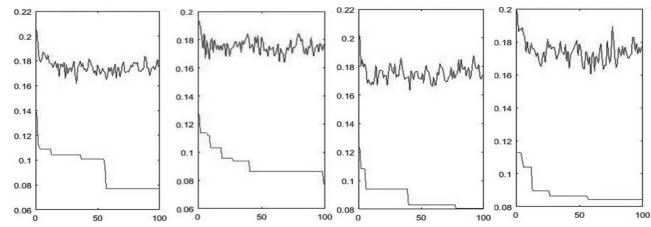


图9 启发系数对算法的影响图

Fig.9 Influence of heuristic coefficient on algorithm



(a)期望启发系数0.2 (b)期望启发系数0.4 (c)期望启发系数0.6 (d)期望启发系数0.8

图10 期望启发系数对算法的影响图

Fig.10 Influence of expected heuristic coefficient on algorithm

由图9可以看出，启发系数的增大使算法的迭代次数减少，收敛曲线下降幅度增大，从0.16—0.14变为0.17—0.12，说明启发系数增加缩小了收缩范围，加快了收敛速度，同时启发系数的增大使得算法的运行趋于平稳。可见，启发系数增大，迭代次数减少，最小路径变小比较明显。但是收敛曲线的折线和趋势没有明显变化，说明启发系数对收敛曲线影响较小。

由图10可知，蚂蚁收敛速度放缓，收敛过程中平均值从0.18到0.12，收敛曲线先陡然后趋于平缓，收敛曲线的曲折密度减小，说明更加趋于平稳。同未引入权重的救援路径相比，引入权重以时间花费最小为目标，行驶最短距离要大于未引入权重的最短路径。从收敛曲线和平均路径曲线可以看出，引入权重的救援路径优化收敛速度有所减缓，斜率下降，路径优化过程中稳定性有所改善。同时引入权重的蚁群算法路径优化，考虑了应急救援过程中的实际影响因素，如路径距离、道路容量、交通状态、路口停滞、天气状况，对路径优化具有实际意义。

4.3 蚁群路径结果分析

基于AHP多因素权重路径分析，对MATLAB蚁群算法进行赋权的应急救援车辆最优路径为89—43—36—37—26—22—19—17—18，如图11所示。从医院出发沿中华南大街向北行驶至和平路，向右行驶到光明大街路口，然后向北行驶至人民路，右行驶到湓河大街路口，接着向北行驶至联纺东路，再向右行驶到东柳大街路口，最后北行到达事故点进行救援。救援车辆路径及引入层次分析法权重后救护车救援路线图如图12所示。

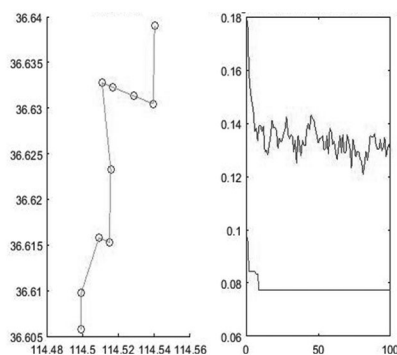


图11 MATLAB蚁群最优路径图

Fig.11 Optimal route map of MATLAB ant colony

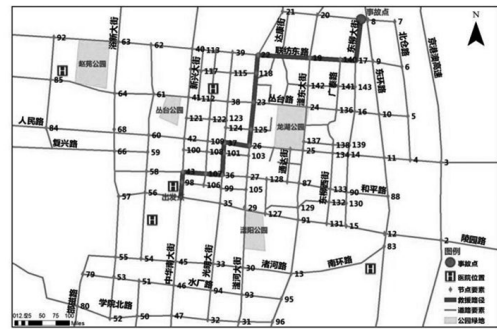


图12 救护车救援路线图

Fig.12 Road map of ambulance rescue

5 结论(Conclusion)

本文对应急救援路径模型进行了改进，建立了基于MATLAB蚁群算法的道路优化模型，并探讨了引入权重后蚁群算法路径模型的结果差异。在模型的改进方面，通过路径距离、道路容量、交通状态、路口停滞、天气状况等权重赋值，依托邯郸市主要道路的路网络相关数据，以ArcGIS软件作为基础平台，实现了邯郸市道路网络的应急道路救援路径分析，对MATLAB蚁群算法相关参数进行了对比，分析各参数值变化对优化算法的影响。通过实例分析系统运行效果可知，改进的蚁群算法道路优化模型具有一定的可行性和实用性，可为应急灾害管理时道路出行的选择提供综合路径选择指标，有利于提升应急救援决策支持系统的科学性。

参考文献(References)

- [1] 刘杨,云美萍,彭国雄.应急车辆出行前救援路径选择的多目标规划模型[J].公路交通科技,2009,26(8):135—139.
- [2] 乔梁,金华,李云霄,等.K-均值算法混合蚁群算法城市应急救援最佳路径决策[J].中国公共安全·学术版,2011,23(2):53—57.
- [3] 杨兆升,于尧,孙文飞.城市路网下应急救援路径选择方法[J].哈尔滨工程大学学报,2013,34(12):1566—1572.
- [4] 全倩.突发事件下城市路网应急动态交通分配模型[D].长春:吉林大学,2013.
- [5] 孙硕,段征宇,孙世超,等.随机时变路网下的城市应急服务车辆路径分析[J].计算机应用,2014,34(S2):317—319.
- [6] 孔祥丽.多影响因素下的导航路网数据路径规划研究[D].武汉:武汉大学,2018.
- [7] 董影影.基于蚁群算法的应急车辆调度系统的研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [8] YI W, ZDAMAR L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179(3):1177—1193.
- [9] FIEDRICH F, GEHBAUER F, RCIHERS U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters[J]. Safety Science, 2000, 35(6):41—57.

作者简介:

闫俊霞(1982—)，女，硕士，讲师.研究领域：交通信息化，大数据技术。

王双友(1983—)，男，硕士，副教授.研究领域：大数据技术。

张明(1995—)，男，本科.研究领域：交通信息化。

张建峰(1980—)，男，硕士，讲师.研究领域：交通信息化。