

消防车辆最优路线规划的仿真研究

任文昊, 罗小龙

长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年10月19日; 录用日期: 2023年11月20日; 发布日期: 2023年11月27日

摘要

近年来, 随着经济的高速发展, 安全问题已成为一个不可忽视的焦点, 特别是火灾的威胁, 它对社会的稳定和可持续性构成了严峻的考验。发生火灾时, 时间就是生命, 所以怎样缩短消防车辆从消防站到事故地点的时间成为了问题的关键。针对这一问题, 本文提出一种基于AHP (层次分析法)和加权改进的A*算法的消防路线规划方案, 并在虚拟仿真环境下模拟了路径规划的全过程, 旨在解决消防车辆路线规划问题, 该路线可以保证消防车辆能够在最短时间内到达灾情地点。研究结果将会大大提高消防队的救援效率, 降低灾害给国家、社会、集体以及个人造成的损失。

关键词

路线规划, 层次分析法, 虚拟仿真

Simulation Study on the Optimal Route Planning of Fire Vehicles

Wenhao Ren, Xiaolong Luo

School of Geoscience, Yangtze University, Wuhan Hubei

Received: Oct. 19th, 2023; accepted: Nov. 20th, 2023; published: Nov. 27th, 2023

Abstract

In recent years, with the rapid development of the economy, safety issues have become a focus that cannot be ignored, especially the threat of fire, which poses a severe test to the stability and sustainability of society. When a fire occurs, time is life, so how to shorten the time for firefighting vehicles to travel from the fire station to the accident site has become the key issue. In response to this issue, this article proposes a fire route planning scheme based on AHP (Analytic Hierarchy Process) and weighted improved A* algorithm, and simulates the entire process of path planning in a virtual simulation environment. The aim is to solve the problem of fire vehicle route planning,

which can ensure that fire vehicles can reach the disaster location in the shortest possible time. The research results will greatly improve the rescue efficiency of the fire brigade and reduce the losses caused by disasters to the country, society, collective, and individuals.

Keywords

Route Planning, Analytic Hierarchy Process, Virtual Reality

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着经济的高速发展,安全问题已成为一个不可忽视的焦点,特别是火灾的威胁,它对社会的稳定和可持续性构成了严峻的考验。然而普通老百姓的消防安全意识仍然相对落后,他们没有足够的抗灾技术和素养且没有足够的应急处置措施,这使得他们更容易陷入火灾的危害之中。而当今社会,由于缺少完善的消防安全体系,使得每一位公民都难以承担起自己的消防义务。另一方面,由于企业内部普遍存在着消防文化和安全意识不足的问题,这些都可能对社会的安全隐患构成威胁,因而需要加强对公众的消防教育以及加强企业的消防文化宣传,不管是个人还是企业,我们都必须高度重视这个问题[1]。

从上世纪 50 年代至 90 年代,中国因火灾而导致的人员伤亡人数和财物损失数量一直在快速攀升,而这种情况在 90 年代后则变得更为严重,2022 年 10 月,数据统计显示,全国共发生了 22.92 万次火灾,造成 28.6 亿元的经济损失。此外,根据最新的统计结果,2022 年一年内公安消防部门就已经处理了高达 97.0 万起火灾救援任务,从数据中可以明显看出,火灾给人们的日常生活带来的威胁是无法忽视的。随着中国人口的急剧增长,许多家庭和企业的消防安全意识仍有待提升,许多传统的住宅和办公建筑的消防装置已经过时,近年来火灾接报数量稳居高位,接警出动次数屡次破百万起[2]。

时间就是生命,当发生火灾时,消防员从接到报警到赶到事故发生地点的时间显得尤为重要,这直接影响了人员伤亡的数量以及财产损失。

针对时间对于火灾救援的重要性以及对最优路径规划的研究,本文提出一种基于 AHP (层次分析法)和加权改进的 A*算法的消防车辆路线规划方案,并通过虚拟仿真技术,在虚拟场景中模拟了消防车辆从消防站到达事故现场的场景[3] [4]。

2. 对最优路线的研究

在最优路径规划方面,本文首先利用 AHP 算法对道路上可能影响消防路线规划的不稳定因素进行权重的划分以便于在选择路线时能根据权重大小进行相应的选择,然后,本文分析了传统的 A*算法在路线规划上的不足之处,传统的 A*算法只能简单的分析两点之间的最短路径,而在消防路线规划的实际过程中,消防队与事故发生地点之间存在大量不确定因素,不能只考虑两点之间的距离,还要考虑不稳定因素发生时对消防车行进速率的影响。所以,将层次分析法计算出来的道路不稳定因素的权重与传统的 A*算法相结合,可以更好地应用到实际生活中的消防路线规划。

此外,针对消防过程中可能出现的水资源不足问题,提出增设消防供水点的解决方案,为火灾救援提供资源的保障。针对同一区域消防资源的调度问题,本文选取道路的距离属性作为成本。即发生火灾

后, 根据接警中心提供的火灾点位置信息, 分析火灾点附近的消防资源, 通过判断消防资源与火灾点的距离, 选取距离较近的消防队出警[5] [6]。

最后, 本文利用 Unity3D 开发平台, 选用 Visual Studio 作为开发环境, 对本文提出的方案进行了虚拟仿真实验。在虚拟仿真引擎中建立虚拟场景, 并模仿实际道路上的不稳定因素, 如车祸、道路维修、堵车等, 并在虚拟场景中模拟消防车从消防队经过最优道路后到达事故现场。

2.1. A*寻路算法

A*算法是游戏中常用的寻路算法, A*算法在迪杰斯特拉算法的基础上进行了重大改动, 它不仅仅局限于以起点为参考, 而是考虑到更多因素, 以及更复杂的算法结构, 以确保搜索的准确性和效率。但问题是, 我们并不能准确知道当前点离终点的距离, 因此, 只能用一种估算的方式来计算。A*算法是一种用于估算从一个特定状态转换到另一个状态所需的代价的算法, 它使用“估价函数”和“状态”作为输入, 并将其应用于 BFS 优先队列中[7]。

A*算法作为游戏中常用的寻路算法是因为游戏地图通常是基于网格的, 使用 A*算法有更快的运行效率。

2.2. 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是运筹学中用于决策性分析的种量化因素权重的方法, 它能够以定性定量相结合的考虑各个目标影响因子的权值, 从而以数值计算的方式确定决策分析类问题的数学模型。早在 20 世纪 70 年代末, 为了解决复杂的决策性问题, 美国教授 T. L. Saaty 的层次分析法是一种重新定义和解释人类行为的技术, 它把复杂的个体行为转换成可量化的、可量化的指令, 使之更容易被计算和评估。它的核心思想是: 根据不同的社会环境, 采用多种不同的分析手段, 如文献研究、实证研究、模型构建、模拟实验、实验设计和实验评估, 来深入探究和评估个体行为的可能后果, 并依据专业的判断和评估, 最终确定最佳的决策方案。通过计算不同的影响因素的权值, 我们可以建立一个多维度的层次架构, 层次结构模型的结构示例如图 1 所示。

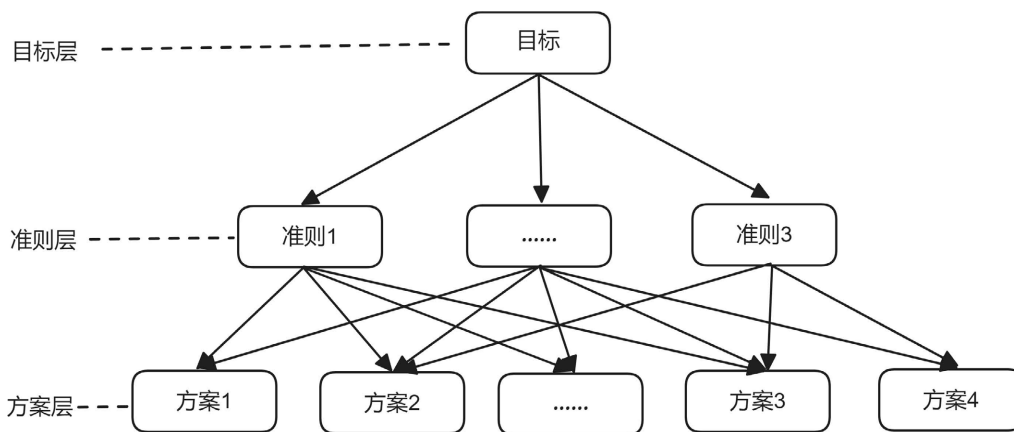


Figure 1. Analytic hierarchy process structural model diagram
图 1. 层次分析法结构模型图

本文以滴滴提供的北京市的交通开放数据集为例(<https://gaia.didichuxing.com>), 主要进行了北京市海淀区中关村周边街道的交通流量数据分析, 并以该数据集为基础, 进行了拥堵检测模型构建, 并以中关村周边街道上的车流量数据为依据进行交通拥堵权重的计算[8], 部分交通数据如表 1 所示。

Table 1. Traffic data of some streets around Zhongguancun
表 1. 中关村周边街道部分交通数据

街道 UID	车流量(pcu)	平均速度(km/h)	长度(m)	统计时间
1	719	34.1145	331	10:00~10:10
1	723	33.6090	331	10:10~10:20
1	727	31.7237	331	10:20~10:30
1	715	34.9297	331	10:30~10:40
1	694	35.1589	331	10:40~10:50
1	705	35.0853	331	10:50~11:00
1	841	30.0545	331	11:00~11:10
1	793	31.0951	331	11:10~11:20

在完成以上数据特征的计算统计之后, 已经有了拥堵检测模型中的各个方案层指标的数据支撑, 接下来就是确定交通拥堵的各个因素, 根据 Anthony [9]对拥堵成因的分析, 可知造成交通拥堵的主要是人驾驶的车辆为主体因素, 因此为了充分衡量车辆主体对于交通拥堵的影响因素, 本文选取了车辆的平均速度为其主要的时间指标, 而主要空间指标则选取代表性较强的车辆密度。除了车辆指标, 交通的宏观调控因素也是造成交通拥堵重要因素, 本文主要选取了能够反映信号灯因素的路口平均等待时长指标, 还有能够体现路口行驶调控的道路单位时间车辆出入比指标。对于交通拥堵的客观成因, 根据本文分析主要体现在道路特征因素和环境因素上, 因此, 针对道路特征因素本文选取了反映度较高的道路饱和度, 而针对环境因素, 因其没有准确的量化公式, 本文综合交通拥堵的环境成因分析, 将环境因素进行了等级量化, 从而可以得到环境影响指标的具体数值。

经过对交通拥堵量化指标的确定并构建拥堵监测模型后, 构造判断矩阵, 利用 Python 等工具即可计算出道路各个不确定因素对道路拥堵影响的权重, 如表 2 所示。

Table 2. Weighting of road congestion factors
表 2. 道路拥堵因素权重

指标编号	指标名称	统计时间
1	车辆平均速度	0.2362
2	车辆密度	0.1735
3	路口平均等待时长	0.1568
4	道路单位时间车辆出入比	0.1154
5	道路饱和度	0.1857
6	环境影响等级	0.1324

2.3. 最优路线规划的仿真研究

在 Unity3D 引擎中模拟真实的城市道路以及车流量[10], 采用 Navigation 组件对道路进行渲染, 生成自动寻路网络, Navigation 实现自动寻路的底层原理就是采用了 A*算法。在虚拟场景中, 消防车前往

事故现场的途中, 每经过一个十字路口, 都会分析当前路口的车辆基本情况, 随后根据层次分析法得出的道路拥堵权重, 做出最合理的选择, 直至到达事故现场。

实验过程中, 将前面获取到的北京市海淀区中关村周边道路的交通流量数据导入到 Unity3D 中的虚拟交通网络中, 以模拟真实的道路情况, 根据前面得出来的道路拥堵因素权重, 利用 Navigation 组件中的 Areas 属性为当前道路设置代价值, 以方便虚拟场景中消防车辆选择路线, 为了方便看出改进后算法的优势, 先让消防车辆在默认 Areas 属性的情况下(默认情况下 Areas 属性都是一样的)从消防站到达事故现场, 然后设置好 Areas 属性后再让消防车辆从消防站到达同一事故现场, 以方便看出传统 A*算法和改进后 A*算法的区别。

经过虚拟仿真实验可以得出, 在其他条件都相同的情况下, 在经过加权改进后的 A*算法下规划的消防车辆路线比传统的 A*算法规划的路线更加合理, 到达事故现场更快, 从而保证了消防车辆能够在最短时间内到达事故现场, 大大提高消防队的救援效率。

3. 结束语

传统的 A*算法是计算从 A 点到达 B 点的最短时间很有效的方法, 但考虑到消防车辆在道路上的复杂性(如闯红灯、逆行等行为), 传统的 A*算法并不适用于消防车辆的路线规划, 而本文提出的基于层次分析法加权改进的 A*算法会对复杂道路上的各个因素进行权重分析, 从而使消防车辆在前往事故现场时做出最合适的判断, 以最快的速度到达事故现场。

由此可见对于特殊车辆路径规划的研究是很有意义的, 虽然现在市面上如高德等 APP 也有同样的作用, 但大多都是用于普通车辆的路径规划, 而对于如消防车辆、警车、救护车等特殊车辆, 在时间上往往都是争分夺秒的, 由于它们的特殊性, 使得一些交通规则也并不适用于它们, 所以我们需要在一些传统的寻路算法上加以改进, 使得改进后的算法更适用于它们, 为它们提供更大的方便, 从而降低事故给国家、社会、集体以及个人造成的损失。

致 谢

这篇论文得以顺利完成, 首先要感谢我的导师罗小龙老师。从论文选题的确定, 篇章结构的安排, 到具体内容的科学性、学术性, 甚至是注释的格式, 他都倾入了大量的心血。在写作过程中, 我常常因为目的不明确, 而出现主线把握不准的问题, 在这时候, 罗老师便会立足于高处给予我宏观上的指导。这于我而言是莫大的帮助, 使我能够正确的把握论文的研究方向, 顺利完成论文。更重要的是, 罗老师给予了我充分的鼓励和信任, 让我得以信心饱满地将论文撰写下来。

其次, 本论文在资料收集和撰写的过程中也得到了我的朋友们的指导和帮助, 以及他们在撰写论文期间对我的督促, 在此我对他们表示由衷的感谢。

最后, 在本论文的撰写过程中, 我参阅了许多书籍、论文与报刊等资料, 受益于思想政治教育专业同仁们的许多真知灼见。在此, 我一并对他们表示诚挚的谢意。

论文已经完稿, 但委实说, 我并不感到轻松, 因为正是此篇论文的创作让我深知自己的稚嫩和不足, 还有很多需要学习的地方, 还有很多需要读的书, 成长和进步的空间依然很大, 但是我相信, 不管路途遥远充满险阳, 只要勇于跋涉, 终会到达!

参考文献

- [1] 杨善志. 我国城市火灾与城市消防规划现状的分析研究[J]. 管理观察, 2011(28): 195-197
- [2] 周亚飞, 刘茂. 基于 GIS 的城市火灾风险评价及其在防灾规划中的应用[J]. 2010, 25(z1): 258-263.

-
- [3] 王勇, 黄思奇, 刘永, 等. 基于 K-means 聚类方法的物流多配送中心选址优化研究[J]. 公路交通科技, 2020, 37(1): 141-148.
- [4] 廖慧敏, 朱宇倩, 陈子鹏. 一种基于 Dijkstra 算法的火灾动态疏散指示系统[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(4): 1676-1683.
- [5] Kimura, M. (2020) Correspondence Analysis-Based Network Clustering and Importance of Degenerate Solutions Unification of Spectral Clustering and Modularity Maximization. *Social Network Analysis and Mining*, **10**, 71-83.
- [6] 陈希琼, 胡大伟, 杨倩倩, 等. 多目标同时取送货车辆路径问题的改进蚁群算法[J]. 控制理论与应用, 2018, 35(9): 1347-1356.
- [7] 张丹红, 陈文文, 张华军, 等. 算法与蚁群算法相结合的无人艇巡逻路径规划[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 13-18.
- [8] 王新玉, 唐加福, 邵帅. 多车场带货物权重车辆路径问题邻域搜索算法[J]. 系统工程学报, 2020, 35(6): 806-815.
- [9] Downs, A. (2006) Can Traffic Congestion Be Cured. *The Washington Post*, **4**, 955-974.
- [10] 李麟. 小区三维景观漫游互动系统的设计与应用[D]: [博士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2014.