

## 智能网联环境下车路协同路径规划算法研究

杨 源

中国邮政速递物流股份有限公司, 北京 100053

**[摘要]** 智能网联环境下, 车路协同系统通过实现车辆与道路基础设施、环境的智能交互, 显著提升了交通系统的安全性与通行效率。路径规划算法作为智能网联车辆实现高效出行的关键技术, 受到广泛关注。文中在分析车路协同系统架构的基础上, 综述现有路径规划算法的发展现状, 重点研究基于智能网联环境下多源信息融合的协同路径规划算法设计, 并通过仿真测试验证算法的有效性和实用性, 旨在为智能交通系统的优化提供理论依据和技术支持。

**[关键词]** 车路协同; 路径规划; 智能网联; 多源信息融合; 智能交通系统

DOI: 10.33142/sca.v8i4.15942

中图分类号: U495

文献标识码: A

### Research on Collaborative Path Planning Algorithm for Vehicles and Roads in Intelligent Networked Environment

YANG Yuan

China Postal Express & Logistics Co., Ltd., Beijing, 100053, China

**Abstract:** In the intelligent networked environment, the vehicle road collaboration system significantly improves the safety and traffic efficiency of the transportation system by achieving intelligent interaction between vehicles, road infrastructure, and the environment. The path planning algorithm, as a key technology for intelligent connected vehicles to achieve efficient travel, has received widespread attention. On the basis of analyzing the architecture of vehicle road collaborative systems, this article summarizes the current development status of existing path planning algorithms, focusing on the design of collaborative path planning algorithms based on multi-source information fusion in intelligent networked environments. The effectiveness and practicality of the algorithms are verified through simulation testing, aiming to provide theoretical basis and technical support for the optimization of intelligent transportation systems.

**Keywords:** vehicle road collaboration; path planning; intelligent networking; multi-source information fusion; intelligent transportation system

#### 引言

随着智能网联技术和车路协同系统的迅速发展, 路径规划问题已成为实现智慧交通系统和智能出行服务的核心研究方向之一。在智能网联环境下, 车辆不再是信息孤岛, 而是通过车路协同系统与路侧基础设施、其他车辆以及云端平台实现高效互联。路径规划算法不仅需要综合考虑车辆自身的动态状态信息, 如位置、速度、能耗等, 还需实时整合道路条件、交通流量、信号灯状态、突发事件以及天气等多源异构数据。通过多维度信息融合, 提升路径决策的全面性与精准性, 实现路径的全局最优选择与动态实时调整。

#### 1 智能网联环境与车路协同系统概述

##### 1.1 智能网联汽车技术发展现状

近年来, 随着信息通信技术、人工智能和自动驾驶技术的快速发展, 智能网联汽车 (Intelligent Connected Vehicles, ICV) 成为全球汽车产业的重要发展方向。智能网联汽车融合了自动控制、环境感知、路径规划、决策执行等多项核心技术, 通过车载传感器、通信系统以及智能算法, 实现对车辆周边环境的实时感知与自主决策。我国在智能网联汽车领域政策支持力度不断加强, 工信部、

发改委等相关部门陆续出台了系列发展战略, 推动智能网联汽车技术标准体系和产业生态建设。目前, 自动驾驶技术已实现从辅助驾驶 (L2) 向有条件自动驾驶 (L3) 乃至更高级别自动驾驶 (L4、L5) 的跃升。与此同时, 5G、C-V2X 等新一代通信技术为智能网联汽车提供了高速率、低延时、大连接的通信能力, 进一步促进了车路协同系统的实现。

##### 1.2 车路协同系统架构与功能

车路协同系统 (Vehicle-to-Everything, V2X) 是智能网联汽车的重要组成部分, 通过实现车辆与道路基础设施、其他车辆、行人以及云平台的互联互通, 构建开放共享的交通信息交互网络。系统架构通常包括感知层、网络层和应用层三大部分。感知层负责收集道路基础设施、交通状况、环境信息等; 网络层通过 V2V、V2I、V2P 等通信技术实现信息实时传输与共享; 应用层则基于云计算与大数据分析, 实现路径优化、交通诱导、事故预警等功能。车路协同系统能够打破单车智能的感知和决策瓶颈, 提升整体交通系统的智能化水平, 推动交通系统向更高效、安全、绿色方向发展。

##### 1.3 车路协同环境对路径规划的影响

在智能网联环境下, 车路协同系统极大地拓展了路径

规划算法的应用空间和优化潜力。首先,通过 V2X 通信技术,车辆能够实时获取全局交通信息,如道路拥堵情况、交通信号状态、事故预警等,从而为路径规划提供更加全面和动态的数据支持。其次,车路协同使得路径规划从单车决策走向多车协同,通过信息共享和协同决策,实现多车辆之间的路径优化与冲突避免,提高整体交通流效率。路侧单元(RSU)和云平台的计算资源可以辅助车辆进行复杂的路径计算与动态调整,显著降低车载计算负荷,提升路径规划的实时性和准确性。综上所述,车路协同环境不仅丰富了路径规划的数据信息来源,还优化了路径计算方式,为实现动态、高效的智能路径规划奠定了基础。

## 2 智能网联环境下路径规划算法研究现状

### 2.1 传统路径规划算法回顾

路径规划作为智能交通系统的核心问题之一,其研究起源于传统静态导航系统。早期路径规划算法主要集中在单一车辆的最短路径或最优路径计算。典型算法包括 Dijkstra 算法和 A 算法。Dijkstra 算法通过构建图模型,基于节点之间的最小代价迭代搜索最短路径,算法简单可靠,但在大规模路网中计算复杂度较高。A 算法在 Dijkstra 基础上引入启发式搜索函数,能够有效降低搜索空间和计算时间,被广泛应用于动态路径规划场景。遗传算法、蚁群算法等智能优化算法也被引入路径规划问题中,通过模拟自然进化和群体行为,探索全局最优路径,但这些算法通常收敛速度慢,受初始参数和搜索空间影响较大。总体来看,传统路径规划算法在静态环境中具有效率高、实现简单等优点,但在动态、复杂的交通环境下,其实时性和灵活性不足。

### 2.2 智能网联环境下路径规划新需求

智能网联环境下,车路协同系统对路径规划算法提出了更高的应用需求。首先,路径规划不再局限于单车视角,而是基于全局交通状态,实现多车协作和全局路径优化。其次,路径规划必须具备动态调整能力,能够根据实时交通流、交通信号、道路施工等信息进行快速响应和路径重规划。再次,智能网联环境产生大量多源异构数据,包括车辆传感器数据、路侧设备信息和云平台分析结果等,路径规划算法需具备强大的数据融合与处理能力。路径规划不仅需优化行驶时间,还需综合考虑交通安全、能耗优化和碳排放控制等多目标优化需求。综上,智能网联环境对路径规划算法提出了实时性、协同性和多目标优化等多方面的新挑战。

### 2.3 现有智能路径规划算法综述

为满足智能网联环境下的复杂需求,学术界和工业界提出了一系列智能路径规划算法。首先,基于多源信息融合的路径规划算法通过整合车辆、道路和环境信息,实现动态路径计算和优化。这类算法通常结合贝叶斯网络、卡尔曼滤波等技术提升信息融合精度。其次,基于交通流控

制的协同路径规划算法充分利用车路协同系统,实现多车辆间的信息共享与路径协调,减少交通冲突和拥堵现象,提升整体通行效率。此类算法多采用博弈论、群体智能优化等理论,强调系统整体优化。再次,近年来深度学习和强化学习等人工智能技术被引入路径规划领域。通过构建神经网络模型或训练智能体,系统能够在复杂环境中自主学习路径规划策略,实现高鲁棒性和动态适应性。尽管现有算法在仿真和部分实际应用中取得良好效果,但仍需进一步提升算法的实时性、稳定性以及面对大规模交通环境的泛化能力。

## 3 车路协同路径规划算法设计与实现

### 3.1 系统架构与数据模型设计

在智能网联环境下,车路协同路径规划系统通常由三大部分构成:车载端、路侧单元(RSU)和云端平台。这三者通过高效协同,共同实现对车辆路径的动态规划与优化。车载端主要负责获取自身状态信息,包括实时位置、速度、加速度、行驶方向以及车辆周边环境感知数据。同时,车载系统通过 V2X 通信模块接收来自 RSU 和云端平台的路径指令,实现行驶路径的调整与决策执行。路侧单元(RSU)作为信息中转和处理枢纽,部署在道路关键节点,能够实时采集车流量、道路状况、交通信号灯状态、突发事件等动态信息,并通过低延时通信将数据发送至云平台和车辆终端。云端平台则依托强大的计算能力和大数据分析技术,对多源异构信息进行融合与处理,应用全局路径优化算法,为各车辆提供最优路径规划服务。在数据模型设计方面,需构建多层次的环境感知模型、道路拓扑结构模型以及动态交通流模型,确保系统具备高精度的信息感知与预测能力。同时,必须保障数据的实时性、准确性和安全性,以支持路径规划算法的高效运行,提升车路协同系统的整体性能和可靠性。

### 3.2 协同路径规划算法设计

协同路径规划算法以多车协作和全局最优为核心目标,旨在提升智能网联环境下交通系统的整体运行效率和安全性。该算法体系主要包括路径搜索、路径评估和动态调整三个关键环节。首先,在路径搜索阶段,算法采用层次化路径规划架构,将全局路径规划与局部路径优化相结合。全局路径规划依托实时路网信息和交通大数据,通过启发式搜索算法(如改进型 A\* 算法或 D\* 算法)快速生成满足整体交通优化目标的初步路径方案,确保车辆在宏观层面上选择最优行驶路径。局部路径规划则根据车辆周边环境的动态变化,实时感知障碍物、突发事件和局部交通拥堵情况,灵活调整行驶路径,以保障车辆的行驶安全性和路径有效性。其次,在路径评估阶段,算法引入多目标优化模型,不仅以最短路径和最小行驶时间为优化目标,还综合考虑交通安全性、车辆能耗、排放水平以及道路通行能力等多维因素,通过粒子群优化、蚁群算法等智能优

化方法,实现多目标的综合平衡与动态优化。

### 3.3 算法实现与优化

为进一步提高协同路径规划算法在智能网联环境下的实际应用性能,必须在算法实现与系统部署过程中进行全面优化。首先,在通信层面,应采用高效的通信协议,如C-V2X(蜂窝车联网)和5G URLLC(超可靠低延时通信),以确保路径规划相关数据的高速率、低延迟和高可靠性传输,显著降低信息在传输过程中的时延,满足车辆路径动态调整的实时性需求。其次,在计算层面,为应对大规模动态路径规划所需的高计算资源,需优化算法的计算复杂度。通过引入边缘计算和分布式计算架构,将一部分路径计算和决策任务下沉到RSU(路侧单元)或车载终端,减轻云端计算平台的压力,提升整体系统的处理效率和响应速度。与此同时,在路径选择与避障策略方面,融合基于历史数据和实时感知信息的交通预测模型,能够提前识别交通流的变化趋势,提高路径规划的前瞻性和合理性,避免潜在交通冲突。

## 4 车路协同路径规划算法仿真与应用分析

### 4.1 仿真平台搭建与实验设计

为验证车路协同路径规划算法的有效性与可行性,本文基于多种高精度仿真平台进行系统搭建与实验设计。首先,采用SUMO(Simulation of Urban Mobility)作为核心微观交通流仿真平台。SUMO能够高度还原实际城市道路网络与交通流动状况,精确模拟单车行为、交通信号控制以及复杂的路网结构,为路径规划算法提供真实可靠的交通环境基础。其次,结合NS-3网络仿真平台,实现车路通信环境的高仿真模拟。NS-3支持多种V2X通信协议(如DSRC、C-V2X),能够有效还原不同通信条件下的数据传输延时、丢包率和网络负载等情况,确保车路协同信息交互的真实性与时效性。借助CARLA自动驾驶仿真平台,进一步测试车辆在感知、定位与路径执行过程中的算法适应性和鲁棒性,实现从路径规划到实际控制的闭环仿真。实验设计方面,选择典型城市道路、快速路及复杂交叉口等多类型路网,设置正常通行、交通拥堵、突发交通事故、恶劣天气等多种仿真工况。实验参数涵盖车辆数量、道路容量、通信时延、数据丢包率等指标,全面评估算法在路径优化效率、系统稳定性、多车协同能力以及应对突发事件时的反应能力,为算法优化和工程应用提供数据支持与理论依据。

### 4.2 算法仿真结果分析

通过仿真实验,本文算法在车路协同路径规划任务中展现出良好的性能。首先,在全局路径优化方面,相较于

传统A\*算法和Dijkstra算法,本文提出的多源信息融合路径规划算法显著降低了平均行驶时间和路径长度,优化率达12%~18%。其次,在交通拥堵环境下,算法具备较强的动态路径重规划能力,通过实时路况分析与路径调整,减少车辆在拥堵区域的滞留时间,提高整体通行效率约15%。在通信延迟和数据丢包条件下,算法表现出较高的鲁棒性,系统延迟保持在100ms以内,满足车路协同系统实时性需求。多车协作场景中,路径协调有效避免了交通冲突,系统整体通行率提升显著,特别是在高密度车流条件下,表现优于单车自主路径规划模式。

### 4.3 实际应用案例与应用前景

车路协同路径规划算法已在部分智慧城市和园区交通管理中得到初步应用。例如,在某智慧物流园区,基于车路协同的路径规划系统实现了自动配送车辆的全流程调度与路径优化,显著提升了物流配送效率和安全性。同时,在城市主干道的智能交通控制项目中,通过部署RSU和云端协同平台,实现了公共交通优先调度和道路拥堵动态诱导,缓解了高峰期交通压力。展望未来,随着5G、边缘计算及人工智能技术的持续发展,车路协同路径规划算法将在自动驾驶、无人配送、智慧高速公路等领域发挥更大作用。算法的智能化与自适应水平也将进一步提高,为构建高效、安全、低碳的智慧交通系统提供有力技术支撑。

## 5 结束语

本文针对智能网联环境下车路协同路径规划问题,系统梳理现有算法发展,提出了基于多源信息融合的协同路径规划方法。通过仿真验证,所提算法在路径优化、计算效率与协作效果等方面表现优越。未来将进一步研究算法的实时性与智能化水平,推动智能网联车路协同系统在实际交通场景中的落地应用。

### 【参考文献】

- [1] 闫宇飞. 车路协同环境下智能网联电动汽车速度优化研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2024.
- [2] [王翠杰, 刘恒. 智能网联汽车车路协同系统优化研究[J]. 汽车测试报告, 2023(23): 152-154.
- [3] 马冠超. 智能网联车路协同系统在煤矿井下的应用研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(10): 236-240.
- [4] 张游. 车路协同环境下交叉口智能网联车辆通行控制方法研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2022.

作者简介: 杨源(1993.12—), 男, 北京市, 汉族, 研究生, 工程师, 就职于中国邮政速递物流股份有限公司, 从事处理中心作业标准管理工作。