



引文格式:王舒曼,应申,蒋跃文,等.智能驾驶场景中高精地图动静态数据关联方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2024,49(4):640-650.DOI:10.13203/j.whugis20230224

Citation: WANG Shuman, YING Shen, JIANG Yuewen, et al. High Definition Map Dynamic and Static Data Association Method for Intelligent Driving Scenarios[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2024, 49(4): 640-650. DOI: 10.13203/j.whugis20230224

智能驾驶场景中高精地图动静态数据关联方法

王舒曼¹ 应申^{1,2,3,5} 蒋跃文¹ 张闯¹ 李霖¹ 刘经南^{4,6}

¹ 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

² 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,湖北 武汉,430079

³ 武汉大学自然资源部数字制图与国土信息应用重点实验室,湖北 武汉,430079

⁴ 武汉大学卫星导航定位技术研究中心,湖北 武汉,430079

⁵ 地球空间信息技术协同创新中心,湖北 武汉,430079

⁶ 湖北珞珈实验室,湖北 武汉,430079

摘要:在智能驾驶场景中,对高精地图的实时动态信息和静态数据的协同调用可以支持智能驾驶系统准确地重构道路行驶场景,并针对复杂的道路环境和突发事件做出安全高效的决策。因此,动态数据与静态数据之间的关联和实时重构是实现智能驾驶车辆路径规划及决策的关键技术。针对目前高精地图模型中动静态数据关联原则共识不够造成耦合实时性弱的问题,提出并论述了动静态数据的关联原则,依此原则,且基于关系数据理论和高精地图的属性属地区块更新机制,进一步提出了高精地图动静态数据的关联和重构的强、弱两种关联方法。通过自动驾驶宏观、中观、微观3种场景决策支持应用分析了动静态数据关联方法对智能驾驶的影响,说明高精地图动静态数据关联关系的建立能够支持智能驾驶系统的规划决策和控制,为车辆实现安全、高效、舒适的智能驾驶奠定了基础。

关键词:高精地图动静态数据关联;数据存储模型;智能驾驶决策支持

中图分类号:P208

文献标识码:A

收稿日期:2023-06-25

DOI:10.13203/j.whugis20230224

文章编号:1671-8860(2024)04-0640-11

High Definition Map Dynamic and Static Data Association Method for Intelligent Driving Scenarios

WANG Shuman¹ YING Shen^{1,2,3,5} JIANG Yuewen¹ ZHANG Chuang¹

LI Lin¹ LIU Jingnan^{4,6}

¹ School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

² Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

³ Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application, Ministry of Natural Resources, Wuhan University, Wuhan 430079, China

⁴ GNSS Research Center, Wuhan University, Wuhan 430079, China

⁵ Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430079, China

⁶ Hubei LuoJia Laboratory, Wuhan 430079, China

Abstract: Objectives: In the intelligent driving scene, the collaborative calls of real-time dynamic information and static data of high definition maps can support the intelligent driving system to accurately reconstruct the road driving scenes, and make safe and efficient decisions for complex road environment and emergencies. Therefore, the correlation between dynamic data and static data is a key technique for achieving vehicle's intelligent path planning and decision-making. **Methods:** To solve the problem of weak real-time coupling of dynamic and static data in current high definition map model, we propose an association method of dynamic and static data within high definition map based on the association principles of dynamic and static

基金项目:国家重点研发计划(2021YFB2501101)。

第一作者:王舒曼,硕士,主要从事高精地图数据关联等方面的研究。wang_sm@whu.edu.cn

通讯作者:李霖,博士,教授。lilin@whu.edu.cn

data, and this association method depends and can be triggered by update mechanism upon custom attributes and specific geographic locations. **Results:** We propose a high definition map dynamic and static data correlation method and analyze the impacts on intelligent driving through different macro-, meso- and micro-scales driving levels to verify the method's validity. **Conclusions:** The establishment of the dynamic and static data association relationship of the high definition map not only supports the planning, decision-making and control of the auto-driving system, but also lays the foundation for the realization of safe, efficient and comfortable intelligent driving of vehicles.

Key words: high definition map dynamic and static data association; data storage model; intelligent driving decision support

随着智能驾驶技术的快速发展,高精地图作为智能驾驶的关键基础设施^[1],也成为了相关行业的研究热点。自“十三五”规划^[2]提出完善现代综合交通运输体系,加快构建车联网,推动驾驶自动化、设施数字化和运行智慧化,到“十四五”规划^[3]提出建设现代化基础设施体系,积极稳妥发展车联网,近年来,由于国家对于智能驾驶发展的重视与推动,国内各大车企、图商、互联网企业等都在加速推进智能驾驶和高精地图的相关技术研究^[4]。

高精地图作为智能驾驶应用中不可或缺的一部分,不仅是智能驾驶的基础设施,还是辅助智能驾驶的特殊工具^[5]。它不仅具有近乎 1:1 的时空分辨率,其认知主体和产品形态也更加复杂多元^[6-7]。它应当同时包括厘米级精度的静态地图数据和高时效性车辆实时场景感知和车联网云边端协同的动态交通信息,为智能驾驶的感知、规划、决策、控制提供数据支持和安全保障^[8]。其中,具有高时效性的动态交通信息可以准确地重构道路行驶场景,支持智能驾驶系统针对复杂的道路环境和突发事件做出安全、高效、实时的行为规划和决策。

目前,国内外对于高精地图动静数据关联关系构建的研究仍处于起步阶段,能够满足特定驾驶场景的需求,但仍无法完全支持 L4 级别及以上的高等级自动驾驶^[4,9-10]。且大部分研究都着眼于对高精地图的高精度表征和道路静态信息更新^[11]。研究者们提出的或业界得到应用的高精地图模型主要有以下几种:博世公司^[12-13]首次提出的局部动态地图模型将高精地图数据分为 4 个逻辑层持续静态数据、瞬时静态数据、瞬时动态数据和高度动态数据;HERE 公司提出的高精实时地图模型以云服务为基础,将高精地图数据分为包含道路模型、车道模型、定位模型的基础架构和动态信息层、驾驶行为分析层;文献^[14]提出的七层自动驾驶地图结构模型,将高精地图

数据划分为道路级路网层、交通信息层、道路-车道连接层、车道级路网层、地图特征信息层、动态感知容器层和智能决策知识层;文献^[1]提出的四层一体化高精地图模型将地图数据逻辑结构划分为四层:静态地图层、实时数据层、动态数据层和用户模型层。

构建面向智能驾驶的高精地图动静数据之间的关联关系,可以完善高精地图模型,支持高精地图关键技术研究,推进高精地图在智能驾驶中的嵌合与应用。本文基于高精地图四层一体化模型,提出了高精地图动静数据的关联原则,并提出了强关联和弱关联两种动静数据关联方法,阐述了动静数据关联对于交通决策和智能驾驶的影响。

1 高精地图动静数据分析

高精地图四层一体化模型对于高精地图的动静数据做出了明确的划分,其中实时数据层和动态数据层存储了高精地图中广义上的动态数据,静态数据层则包含了智能驾驶所需的道路和环境静态数据,而用户模型层旨在基于用户需求和场景变化进行地图的自适应组织重构和调整,主要包含驾驶记录数据集和驾驶经验数据集^[1]。而本文采用了调整的四层一体化高精地图模型中的数据逻辑结构,在四层一体化模型的基础上针对中国道路特征进行调整和完善,主要分为静态数据层、道路实时信息层、车辆动态信息层和用户模型层。由于本文主要针对高精地图动静数据关联进行研究,因此用户模型层的内容不在研究范围内。

1.1 动态数据内容

高精地图四层一体化模型中的动态数据主要包括道路实时信息层和车辆动态信息层。其中道路实时信息层主要包括由车联网云端推送经过验证的众包实时信息和路侧设施实感知的

实时路况信息和交通场景信息,主要提供道路级别的全局实时交通信息,可以辅助智能驾驶系统

进行驾驶场景重构和全局路径变更。其具体数据内容和存储方法如表1所示。

表1 高精地图道路实时信息层

Tab. 1 Real-Time Road Information Layer in High Definition Map

数据类型	内容	属性	存储方法
实时路况信息	天气信息、交通限/管制信息、交通流量信息、服务区信息、交通信号灯变化信息	道路能见度、路面状况(如湿滑、积水等)、道路通行时间、拥堵起始点、拥堵长度、信号灯颜色等	仅存储时效范围内的数据,进行覆盖式更新
交通场景信息	道路场景信息(正常行驶场景、交通事故场景、临时道路维修等)、公共停车场场景信息	事故地点坐标、道路维修地点坐标、停车场车位数量、车位编号(identity, ID)、车位长度和宽度等	

而车辆动态信息层主要包括主动感知动态信息、被动感知动态信息和车辆状态信息,主要提供车辆周边的道路驾驶环境实时变化情况,可

辅助智能驾驶系统进行高精度定位和车辆实时决策控制,其具体数据内容和存储方法如表2所示。

表2 高精地图车辆动态信息层

Tab. 2 Dynamic Vehicle Information Layer in High Definition Map

数据类型	内容	属性	存储方法
主动感知动态信息	车辆传感器主动感知的附近车辆、行人、交通信号灯等信息	类别、方位、距离、行进速度、行进方向等	存储当前时间节点前90s的原始数据,超过90s的即可弃用
被动感知动态信息	其他来源获取的附近车辆、行人、交通信号灯等信息	类别、方位、距离、行进速度、行进方向等	定期对数据进行存储和上传,并进行覆盖式更新
车辆状态信息	车辆里程计、行驶速度、加速度、平均速度、车辆位置、车辆行驶方向、有效限速、扩展速度限制	车辆速度、加速度、位置坐标、方向盘转动角度	实时数据存储于车端,非实时数据上传至云端进行定期覆盖式更新

1.2 静态数据内容

高精地图四层一体化模型中的静态数据主要包括静态数据层和用户模型层^[1]。而本文中所描述的动静态数据关联主要指动态数据与静态数据层之间的关联,静态数据层的数据内容和存储

方法如表3所示。静态数据层主要对静态的道路环境进行刻画,构建道路、车道不同级别的几何形体和拓扑网络,为智能驾驶系统提供全局路径规划和导航信息,同时其中的定位特征参考层可辅助车辆进行特征匹配相对定位。

表3 高精地图静态数据层

Tab. 3 Static Map Data Layer in High Definition Map

数据类型	内容	属性	存储方法
道路网	传统道路级路网数据(道路拓扑、道路几何、道路属性等)	道路材质、宽度、方向、破损程度、车道数量等	
车道网	车道级路网数据、车道拓扑等细节信息	车道通行方向、车道宽度、车道高度、车道坡度、车道曲率等	
交通设施	交通标志、路侧设施、固定地物(其他道路安全设施)、道路交通标线	类型、长度、宽度、高度、颜色、形状、语义等	依据分块分层的存储思想对静态数据进行存储,在地理空间中划分存储块,存储块内部按照静态数据层的数据类型进行分层存储
定位特征参考层	多类型定位数据(如交通标志、路侧设施等)	类型、坐标、长度、宽度、高度、颜色、形状等	
服务点兴趣点(POI)层	机场、体育场、收费站、旅游景点、银行、滑雪缆车站、火车站、餐厅、休息区、酒店、服务入口点等	名称、ID、坐标、功能等	
与其他交通体系的接驳点	与铁路、水系、公共交通(如公交、地铁)等的换乘点	名称、ID、坐标、功能等	

2 高精地图动静数据关联方法

为了实现安全、高效的智能驾驶,智能驾驶汽车对于高精地图的数据调用速度和规划决策效率有着极高的要求。智能驾驶车辆在进行实时规划和决策时主要依赖动态数据来进行驾驶行为决策。然而目前业界广泛使用的高精地图在动态数据实时或提前获取方面基本是完全缺失的,这导致智能驾驶车辆只能割裂地使用从高精地图获取的静态数据和由自车感知获取的动态数据,从而降低了数据获取和分析的速度,进而使智能驾驶车辆的局部规划和实时决策效率降低。而目前学界提出的各类高精地图数据模型中虽然包含了动态数据层,但也并未阐述动态数据与静态数据之间的关联关系和重构融合。因此,本文针对四层一体化高精地图模型中的动静数据内容设计了动静数据之间的关联原则和关联方法。

2.1 动静数据关联原则

智能驾驶系统的首要任务是提供安全、高效的驾驶服务,因此数据模块间的时空位置与属性耦合关系既要高效,又要简洁,需要在满足大量数据传输要求的基础上实现高效的数据传递。高精地图动静数据之间的调用和传递是实现智能驾驶车辆感知-规划决策-控制的必要步骤,能够补足高精地图静态数据的现势性缺陷,因此静态数据与车辆动态信息和道路实时信息的关联和耦合尤为重要。

高精地图动静数据的关联原则主要关注数据关联的内容,即动态数据与哪些静态数据产生关联的问题。考虑到动静数据关联的应用

方向和高精地图本身的结构特点,本文认为高精地图动静数据进行关联时应当遵循以下 3 个原则:

1)以智能驾驶应用为导向。对高精地图中动静数据进行关联的主要目的就是为智能驾驶系统的应用服务,因此建立动静数据关联关系时应当以智能驾驶应用为导向,考虑到智能驾驶系统在感知-规划决策-控制过程中对高精地图数据的需求,并以此为依据来设计动静数据之间的关联关系。以智能驾驶的实时避障功能为例,实时避障需要利用车辆采集的车辆动态信息来感知周边环境,获取障碍物的相对位置、立体包围盒、移动轨迹等信息,同时结合车辆的规划路径和周围车道的车流信息来做出驾驶决策(停车避让、变道避让、变道车道选择等)。因此,车辆动态信息层中的障碍物信息需要与静态数据层中的道路网、车道网相关联,便于智能驾驶系统调用和实时避障功能的实现。

2)以高精地图数据存储关系为基础。动静数据关联关系的建立以高精地图数据的存储结构为基础,在不影响存储结构和存取效率的情况下进行关联,考虑到在分层分块的存储结构中应当如何建立高效实时的关联结构,便于进行数据的同步联合调用和及时统筹分析。以交通信号灯为例(见表 4),它属于高精地图静态数据层中的道路交通设施,具有几何信息和语义信息,语义信息中的内容直接关联道路实时信息层获取的信号灯相位。信号灯相位描述交通信号灯的当前信号相位,由于其现势性强,是智能驾驶决策过程中的重要影响因素,因此采用动态属性的方式进行存储。

表 4 高精地图中交通信号灯数据内容

Tab. 4 Traffic Signal Light Data Content of Road Traffic Facilities in High Definition Map

数据内容		描述
	ID	交通信号灯作为道路设施的唯一 ID 编号
几何信息	关联道路	交通信号灯关联的道路(如珞喻路)
	关联车道	交通信号灯关联的车道(如珞喻路最左侧车道)
	外接矩形框	交通信号灯地理实体外接矩形框坐标
语义信息	类型	交通信号灯类型(如机动车信号灯、方向指示信号灯等)
	信号相位	当前信号灯信号相位
	更新周期	信号灯相位更新周期
	是否更新	当前更新周期相位信息是否更新

3)便于车-路-云三端融合的数据更新。建立的动静数据关联关系应当便于车-路-云三端融合的数据更新。考虑到动态数据和静态数据的

更新频率不同,更新方式也不同,若动态数据和静态数据过度耦合,其数据的更新可能会受到影响。因此,应设计适配数据更新的动静数据关

联方法,避免动静态数据层之间的过耦合。如表4中交通信号灯的信号相位信息,通过“是否更新”来标识道路实时信息层中是否实时在线关联。动态信息在进行更新时不会影响到相应的静态数据的几何和拓扑结构,而是通过动态属性来建立关联,传递动态信息。因此,更新周期和是否更新两个属性直接影响到动态属性内容的置信度。

2.2 动静态数据关联方法

在关联原则的指导下,基于关系数据理论和属性属地区块更新机制为动静态数据之间设计不同的关联方法,用于建立不同的关联关系。关联方法主要分为两种:强关联方法和弱关联方法。强关联方法即从车辆动态信息层和道路实时信息层获取到动态数据后,将其作为与之关联的静态数据的一个动态属性进行存储,来建立动静态数据之间的关联关系。强关联方法中动静

态数据耦合度较高,可实现智能驾驶系统对动态数据的快速调用和实时决策,因此主要针对实时性要求较高或较为重要的动态数据。

以道路实时信息层中实时路况信息的交通信号灯颜色为例(见图1),将实时路况信息中的交通信号灯与静态数据层交通设施中的交通信号灯进行位置匹配,并将其颜色作为交通设施中的交通信号灯的动态属性进行存储,并根据该信号灯关联的车道为车道赋值,如当前时刻可通行、当前时刻不可通行、当前时刻越过停止线可通行等,便于智能驾驶系统进行局部规划和驾驶决策。而考虑到信号延迟和更新不及时的问题,智能驾驶系统在进行实时规划和决策时,应当检测该属性的更新周期和更新时间,若当前周期内信号灯相位信息未更新,则弃用该属性,并接入车辆自身传感器的实时感知内容,对交通信号灯颜色进行感知,并基于感知做出驾驶决策。

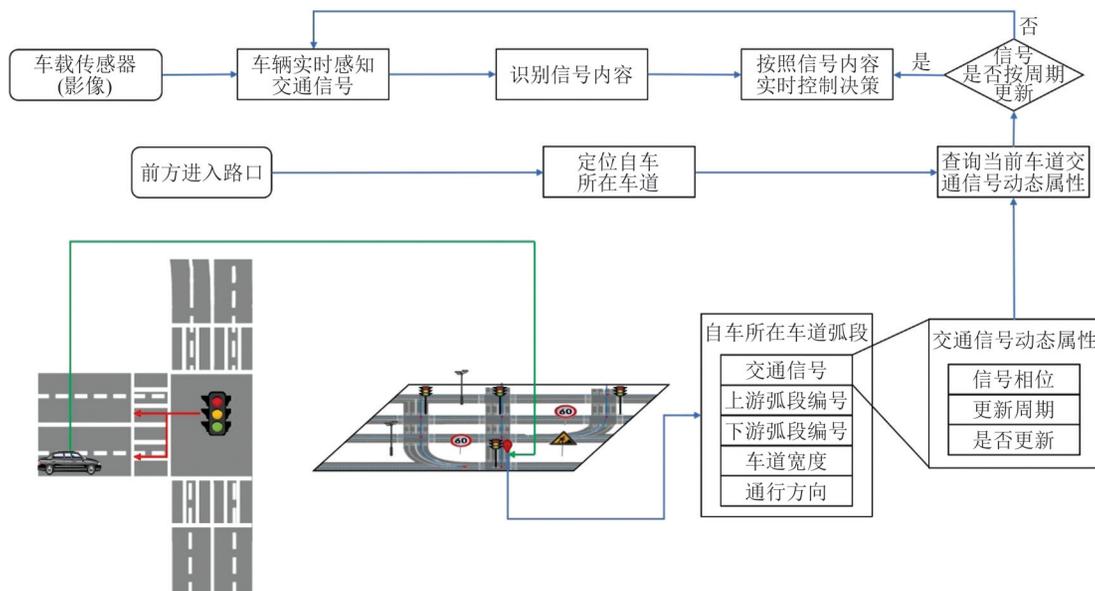


图1 交通信号与静态数据关联应用

Fig. 1 Association Application of Traffic Signal and Static Data

弱关联方法即在静态数据结构中存储指向与之关联的动态数据的指针,便于智能驾驶系统对相关的动静态数据进行联合调用。相对于强关联方法,弱关联方法中动静态数据的耦合度较低,主要针对实时性要求相对较低,或面向需求的动态数据,为智能驾驶系统的规划和决策提供数据支持。

以道路实时信息层中实时路况信息的服务区信息为例(见图2),各个服务区的信息,如实时停车位数量、卫生间占用情况、功能区营业时间(餐厅用餐时间、超市营业时间)等,按照服务区位置与静态数据层中服务点POI层的

服务区进行匹配,在相应的服务区POI属性表中存储指向服务区实时详细信息的指针,在智能驾驶系统需要选择并驶入服务区时为其提供沿途服务区的实时详细信息。当乘员或驾驶员输入需求指令,如需要用餐时,智能驾驶系统通过静态数据层查询附近服务区,并通过指针访问服务区详细信息,如是否建有餐厅、超市或便利店,若有相关POI点,进行道路级初步路径规划并估计到达时刻,查询预计到达时刻是否在餐厅、超市、便利店的营业时间内,选择在营业时间内的服务区,并进行车道级二次路径规划,确定具体驾驶路线。

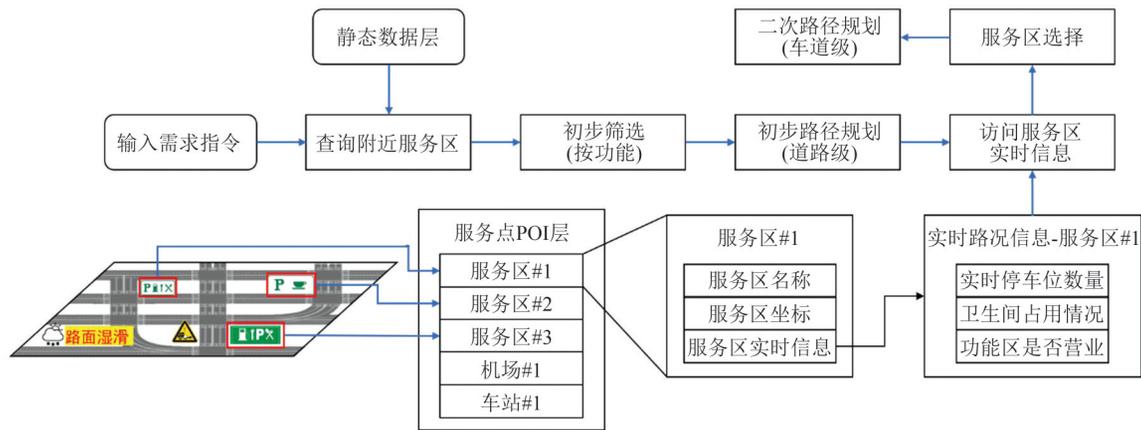


图 2 服务区与静态数据关联应用

Fig. 2 Association Application of Service Area Data and Static Data

由于智能驾驶应用中,不同的动态数据在时效性、更新机制、自动驾驶应用导向等方面有较大差异,因此在将其与静态数据相关联时,需要使用不同的关联方法。而这两种不同的关联方法由于关联原理不同,其关联的动态数据特征和关联的更新机制也有所差异(见表 5)。其中,强关联方法是用于关联时效性高或较为重要的动态数据。考虑到动态数据与静态数据之间更新频率的差别,为动态属性设置与对应的动态数据相同的更新周期,若动态属性持续时间超过了更

新周期,说明该动态属性已失去时效性,应对其进行重置。而弱关联方法是用于关联实时性要求相对较低,或面向自动驾驶应用需求的动态数据。由于动态信息的逻辑存储结构并不随数据内容的更新而发生改变,因此指向逻辑存储地址的指针不必随着动态数据的更新发生改变。但由于静态数据采取定期更新,根据自车属性属地需求进行分区分块下载的更新策略,因此当车辆进行静态数据更新时,指向动态数据的指针也应当进行更新。

表 5 两种关联方法的差异

Tab. 5 Differences Between Strong and Weak Correlations

关联方法	关联方法原理	关联的动态数据特征	关联更新机制
强关联方法	将动态数据作为关联静态数据的动态属性进行关联	时效性强、重要性高	与关联的动态数据更新周期保持一致
弱关联方法	在静态数据存储结构中关联指向相关动态数据的指针	实时性要求相对较低、面向应用需求	随着静态数据的更新周期进行更新

3 数据关联对智能驾驶的决策支持

智能高精地图是汽车智能驾驶的关键基础设施^[1]。智能高精地图领域对高精地图数据逻辑结构的研究,以及业界现有的应用较为广泛的高精地图数据结构相关标准中,大部分模型都同时包含了动态数据与静态数据,其中动态数据负责刻画真实的周边环境和路况信息,静态数据负责提供准确详细的先验知识^[15]。而高精地图动静数据关联关系的建立对于交通决策和智能驾驶的影响是全方位的(见图 3),宏观上影响到道路级别的全局路径规划和路径优化^[16-18],中观上影响到路段级别的局部路径规划和决策^[19-20],微观上影响到车辆的自车周边感知和实时

决策^[16,21-22]。

不同层级的智能驾驶决策对于动静数据的需求也有所不同(见表 6)。宏观的道路级别的智能驾驶决策主要进行道路级别的全局路径规划和路径优化,应用的动态数据主要是道路实时信息层的道路相关数据,其实时性要求较低,更新周期较长,因此宏观决策过程中的动静数据关联主要以弱关联方法为主;中观的路段级别的智能驾驶决策主要进行实时路径更新和局部路径优化,需要结合多种动态数据做出决策,应用的动态数据既包括实时性要求较低的道路实时信息,也包括时效性较强的车辆动态信息,因此中观决策过程中所用到的动静数据关联既有强关联也有弱关联;微观的面向车辆周边道路环

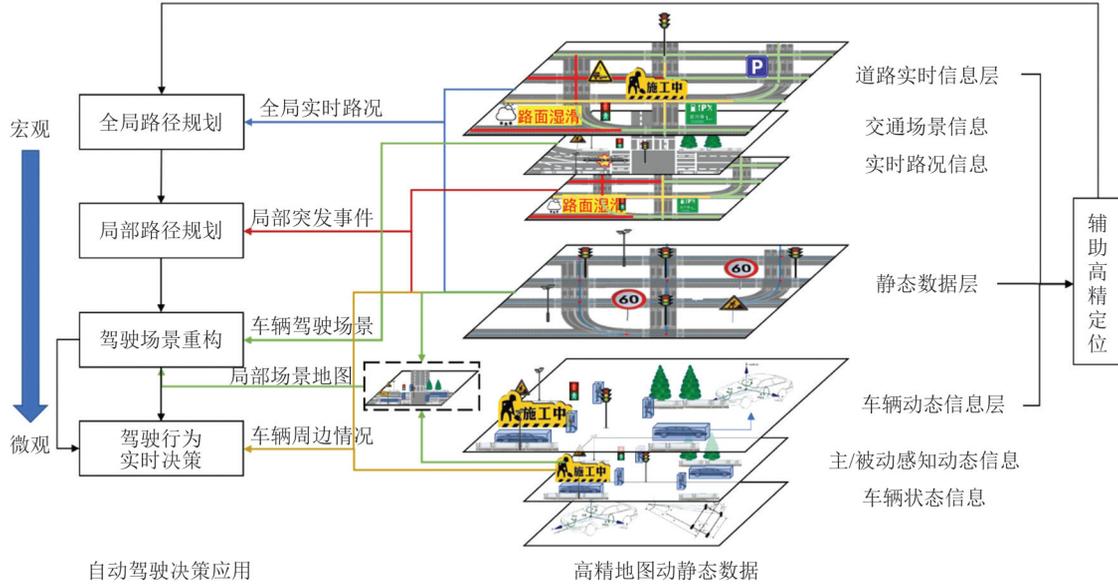


图3 动静数据关联对交通决策和智能驾驶的影响

Fig. 3 Impacts of Dynamic and Static Data Association on Traffic Decision-Making and Intelligent Driving

表6 多层次智能驾驶决策对动静数据关联的需求差异

Tab. 6 Requirement Differences in Dynamic and Static Data Association for Multi-level Intelligent Driving Decision-Making

智能驾驶决策层级	决策级别	动态数据需求	动静数据关联特征
宏观决策	道路级	道路实时信息	动态数据实时性要求较低,以弱关联方法为主
中观决策	路段级	道路实时信息 车辆动态信息	动态数据时效性强弱混合,需结合多种动态数据做出决策,强弱关联方法混用
微观决策	车辆周边道路环境	车辆动态信息	动态数据时效性强,以强关联方法为主

境的智能驾驶决策主要进行实时决策、路径平滑和车辆控制,应用的动态数据主要是聚焦于车辆周边道路环境的车辆动态信息,其时效性较强,更新频率较高,因此微观决策过程中的动静数据关联主要以强关联方法为主。

3.1 宏观决策

在宏观的道路级别的智能驾驶决策过程中,动态数据和静态数据关联关系的建立可以让智能驾驶系统更快、更好地进行道路级别的全局路径规划和路径优化^[23]。实时路况信息包含的天气信息、交通限/管制信息、交通流量信息等都是影响全局/局部路径规划中的重要因素,能够在路径规划阶段帮助智能驾驶系统避开能见度低、路面湿滑、积水路段等事故易发路段,大大提高驾驶的安全性;也能够避开交通管制路段、拥堵路段等无法通行或通行效率低的路段,缩短驾驶行程的时间,提高驾驶的舒适度(见图4)。

以道路级别的面向临时交通管制的路径规划为例(见图5),道路实时信息中实时路况信息包含的交通管制信息通过弱关联方法与静态数

据中的道路网、车道网相关联,当智能驾驶车辆进行道路级别的全局路径规划时,通过道路网、车道网上关联的交通管制信息存储地址,对路径涉及的交通管制详细情况进行检索,并将其作为影响因子纳入路径规划决策的过程,使规划出的全局路径绕过交通管制信息。同时,对管制时段进行检查,若管制时段过长,超出设定阈值,则需要对静态数据层的拓扑关系进行修改,将该路段设为暂时不可通行路段。

3.2 中观决策

高精地图的动态数据包括车辆动态信息和道路实时信息,而在中观层面的路段级别,道路实时信息对于智能驾驶的实时路径更新和局部路径优化起到了重要的作用,车辆动态信息层则为路段级的局部路径规划和驾驶行为决策提供了数据支持^[24]。道路实时信息层可以提供实时路况信息,当规划的全局路线上发生了突发事件时,如临时交通管制、突发自然灾害、突发车祸等,即可根据道路实时信息层对规划路线进行实时更新和局部优化,避开被占用的路段。车辆动

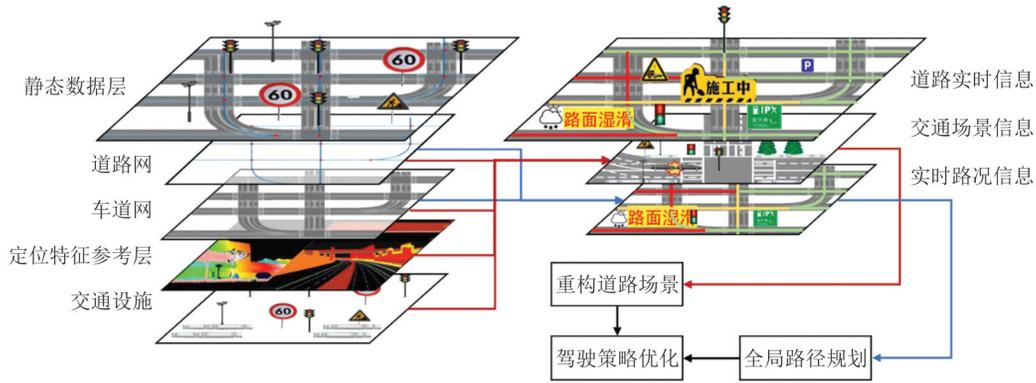


图 4 动静数据关联对宏观道路级别的规划决策支持

Fig. 4 Intelligent Driving Decision Support at Macro Road Level Through Dynamic and Static Data Association

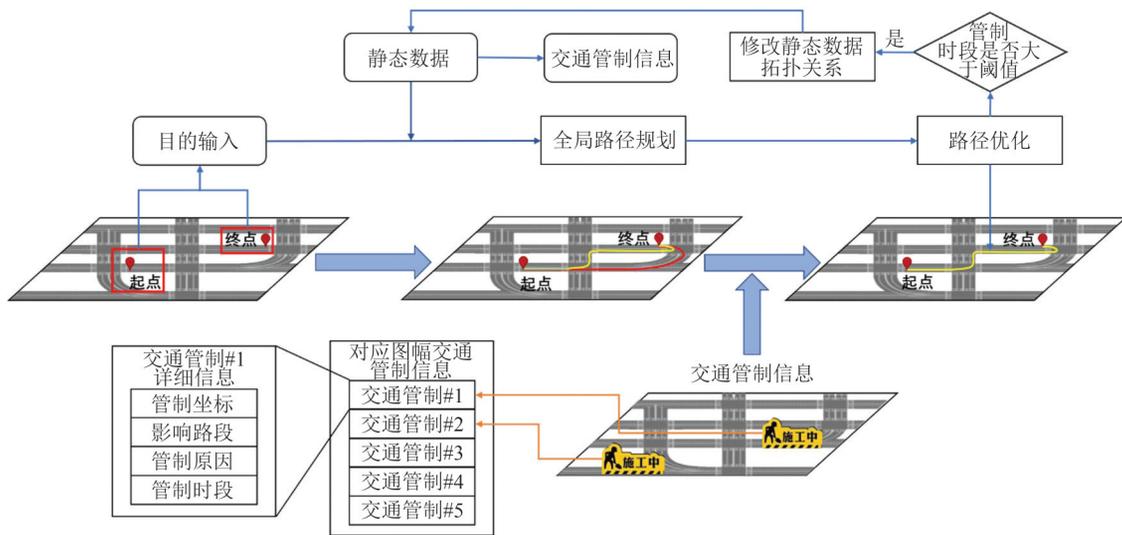


图 5 面向交通管制的全局路径规划

Fig. 5 Global Path Planning with Traffic Control

态信息层中的主/被动感知动态信息可以提供路段级的道路行驶场景信息,与高精地图静态数据层相结合,可以在考虑全局路径规划的情况下辅助车辆的路段级局部路径规划,如车道选择等。

以面向前方路口的路段级局部路径规划为例(见图 6),车辆动态信息层的主/被动感知动态信息提供了当前路段各车道的车流情况,结合静态数据层和全局路径规划的路线,前方路口应该向右转弯,根据交通信号灯信号相位和两条右转车道的车流情况,在保证驾驶安全的情况下选择通行时间较短的车道进行变道。

3.3 微观决策

在微观层面上,即车辆周边的局部道路环境中,车辆动态信息层中的数据为智能驾驶系统的实时决策、路径平滑和车辆控制提供了数据支持和安全保障^[25-26]。道路实时信息中的交通场景信息通过调用静态数据中的道路网、车道网、交通设施、定位特征参考层等数据,结合实时路况信

息和车辆动态信息对不同的道路行驶场景进行局部重构,便于智能驾驶系统进行交通场景的理解和驾驶行为的选择。而车辆动态信息层中的数据实时性极强,更新频率极高,仅反映车辆周边的微观驾驶场景(见图 7),其中的主/被动感知动态信息为车辆的决策和控制提供了数据基础,帮助车辆做出正常行驶时的各种决策,如巡航、跟车、变道、超车等,是实现车辆智能驾驶不可或缺的数据^[27];同时,主/被动感知动态信息也在车辆面临突发事件场景,如交通事故、行人横穿马路、车辆切入自车车道等情况下为智能驾驶系统的决策和控制提供数据支持和安全保障^[28]。智能驾驶系统可以通过主/被动感知信息中识别和提取出的移动交通参与者位置、速度、运动方向等数据进行移动目标的运动轨迹预测^[29],弥补车身周边的视觉交叉盲点上车载传感器的视野盲区。而车联网背景下的车辆动态信息可以弥补传感器感知的缺点,绕过自车传感器的感知距离

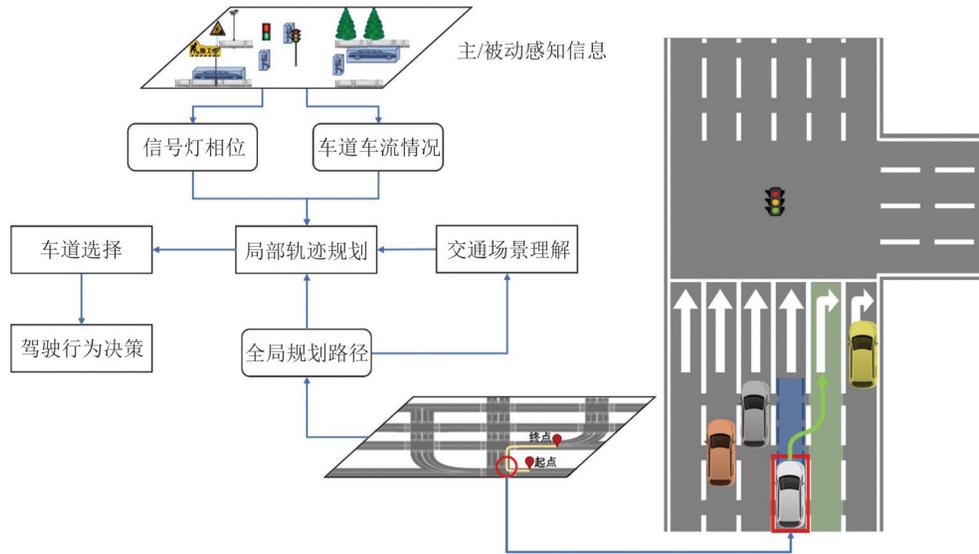


图6 面向路口的路段级局部轨迹规划

Fig. 6 Local Route Planning Around Intersections at Road Segment Level

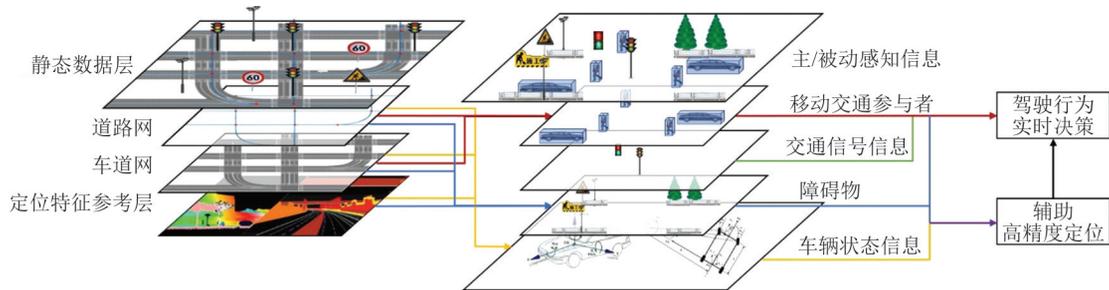


图7 动静态数据关联对微观车道级和自车周围的智能驾驶决策支持

Fig. 7 Micro-level Intelligent Driving Decision Support at Lane Level and Surroundings

限制,获取感知范围外和被遮挡的动态信息,保证行驶安全。

以面向临时障碍物的局部驾驶场景为例(见图8),车辆动态信息中主动感知信息包含的临时障碍物数据通过位置匹配与道路网、车道网建立弱关联,在临时障碍物的地理坐标位置所对应的车道段和道路段上链接相应的障碍物详细信息,如障碍物类型、障碍物立体包围盒、障碍物移动轨迹预测等,协助智能驾驶系统结合全局路径规

划信息做出车辆驾驶行为的实时决策。如图8所示,车载传感器感知到前方有障碍物,根据传感器数据提取障碍物相关信息,如障碍物类别、坐标、立体包围盒、移动轨迹、预测轨迹等;结合自车定位和传感器解算出的障碍物相对位置,将障碍物关联到相应的道路网、车道网中,并结合车辆自身参数(如行驶速度、车辆位姿等)和障碍物相关参数(如障碍物类别、障碍物高度、障碍物预测轨迹等)做出变道的驾驶决策。

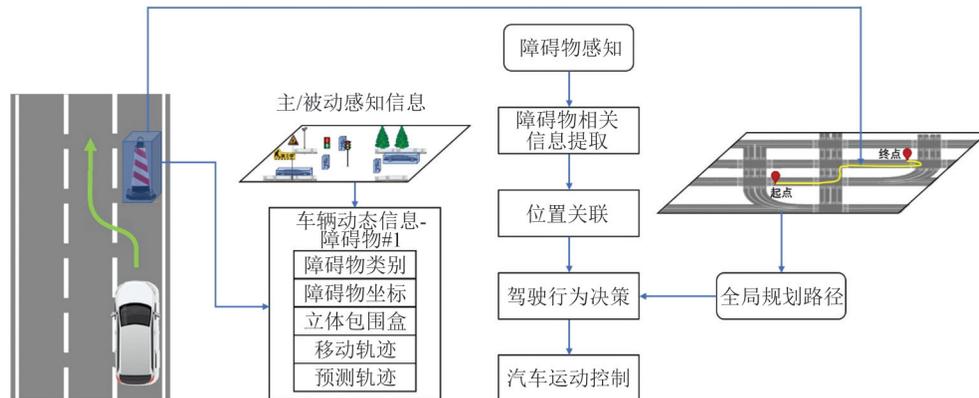


图8 面向障碍物的实时决策

Fig. 8 Real-Time Decision-Making with Surrounding Obstacles

4 结 语

高精地图以存储动静数据及其关联关系为基础,支持车-路-云数据融合与更新,是汽车智能驾驶的关键基础设施。高精地图静态数据精准重构了静态驾驶场景,为车辆控制提供关键参数;同时,高精地图中的动态数据是智能驾驶系统进行感知、规划、决策和控制时不可或缺的重要信息。动态数据和静态数据关联关系的建立提高了静态图层和动态图层的耦合度,面向智能驾驶应用,加快智能驾驶系统调用决策效率。本文基于改进的高精地图四层一体化模型提出了高精地图动态数据和静态数据的关联原则,基于关联原则设计了关联方法,从宏观道路、中观路段、微观车辆周边 3 个层面分析了动静数据关联对智能驾驶感知-规划决策-控制过程的影响。后续将开展高精地图动静数据关联方法的高效性、有效性实验验证和定性定量评估研究。

参 考 文 献

- [1] Liu Jingnan, Zhan Jiao, Guo Chi, et al. Data Logic Structure and Key Technologies on Intelligent High-Precision Map[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2019, 48(8): 939-953. (刘经南,詹骄,郭迟,等.智能高精地图数据逻辑结构与关键技术[J].测绘学报,2019,48(8):939-953.)
- [2] Proposal of the Central Committee of the Communist Party of China on Formulating the 13th Five Year Plan for National Economic and Social Development [N] People's Daily, 2015-11-04 (001). (中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议[N].人民日报,2015-11-04(001).)
- [3] Proposal of the Central Committee of the Communist Party of China on Formulating the 14th Five Year Plan for National Economic and Social Development and the Long Range Goals for 2035 [N]. People's Daily, 2020-11-04(001). (中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议[N].人民日报,2020-11-04(001).)
- [4] Li Deyi, Zhao Fei, Liu Meng, et al. Difficulty Analysis and Prospect of Autonomous Vehicle Mass Production [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 1775-1779. (李德毅,赵菲,刘萌,等.自动驾驶量产的难点分析及展望[J].武汉大学学报(信息科学版),2018,43(12):1775-1779.)
- [5] Cai Zhongliang, Wang Mengqi, Li Bozhao, et al. Research on High Definition Map Related Standards and Data Models [J]. *Journal of Geomatics*, 2023, 48(1): 30-34. (蔡忠亮,王孟琪,李伯钊,等.高精地图相关标准及数据模型的研究[J].测绘地理信息,2023,48(1):30-34.)
- [6] Yin Zhangcai, Qi Ruyun, Ying Shen, et al. Information Transmission Model of High Definition Map for Autonomous Driving [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20230135. (尹章才,齐如煜,应申.自动驾驶高精地图的信息传输模型[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,DOI:10.13203/j.whugis20230135.)
- [7] Dong Weihua, Liu Yilong, Hei Qiaosong, et al. Research Framework of the Theories and Methods for Pan-Map Spatial Cognition [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2007-2014. (董卫华,刘毅龙,黑巧松,等.泛地图空间认知理论与方法研究框架[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,47(12):2007-2014.)
- [8] Yang Diange, Li Qingjian, Wang Yan, et al. Reference Architecture and Technical Route of High-Precision Dynamic Map Basic Platform [J]. *Intelligent Connected Vehicles*, 2021(1): 74-83. (杨殿阁,李庆建,王艳,等.高精动态地图基础平台参考架构和技术路线[J].智能网联汽车,2021(1):74-83.)
- [9] Aeberhard M, Rauch S, Bahram M, et al. Experience, Results and Lessons Learned from Automated Driving on Germany's Highways [J]. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2015, 7(1): 42-57.
- [10] Liu Zhaolin, Chen Jiqing, Lan Fengchong, et al. Methodology on Comprehensive Mapping of Multi-information of Autonomous Driving Based on Trajectory Tensor [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2020, 56(16): 214-226. (刘照麟,陈吉清,兰凤崇,等.基于轨迹张量的自动驾驶复合信息综合映射方法[J].机械工程学报,2020,56(16):214-226.)
- [11] Zhang Yanjie, Huang Wei, Liu Xintao, et al. An Approach for High Definition (HD) Maps Information Interaction for Autonomous Driving [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20230166. (张焱杰,黄炜,刘信陶,等.自动驾驶高精地图信息交互方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,DOI:10.13203/j.whugis20230166.)
- [12] Andreone L, Brignolo R, Damiani S, Sommariva F, Vivo G, Marco S. D8.1.1_Final Report-Public_v1.0doc[R/OL]. [2010-07-31]. <http://www.>

- safespot-eu.org/documents/D8.1.1_Final_Report_-_Public_v1.0.pdf.
- [13] Shimada H, Yamagushi A, Takada H, et al. Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems[J]. *Journal of Transportation Technologies*, 2015, 5(2): 102-112.
- [14] Jiang Kun, Yang Diange, Liu Chaoran, et al. A Flexible Multi-layer Map Model Designed for Lane-Level Route Planning in Autonomous Vehicles[J]. *Engineering*, 2019, 5(2): 305-318.
- [15] Zhan Jiao, Guo Chi, Lei Tingting, et al. Comparative Study on Data Standards of Autonomous Driving Map[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2021, 26(1): 36-48. (詹骄, 郭迟, 雷婷婷, 等. 自动驾驶地图的数据标准比较研究[J]. 中国图象图形学报, 2021, 26(1): 36-48.)
- [16] Jing Xurui. Research on Path Planning Technology for Automatic Driving System[D]. Xi'an: Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2019. (景旭蕊. 用于自动驾驶系统的路径规划技术研究[D]. 西安: 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2019.)
- [17] Peng Dengyong. Research on Path Planning of Automated Vehicles in an Urban Road Network Environment[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2019. (彭登永. 城市路网环境下自动驾驶车辆路径规划研究[D]. 太原: 山西大学, 2019.)
- [18] Liu Yizhuo. Research on Global Path Planning and Local Obstacle Avoidance Methods for Unmanned Vehicles[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2021. (刘依卓. 无人车全局路径规划与局部避障方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2021.)
- [19] Zhang Shuanglin. Design and Implementation of Mission Planning Algorithm of Autonomous Electric Vehicle[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018. (张双琳. 纯电动自动驾驶汽车任务规划算法的设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.)
- [20] Wang Xiang. Research on Local Path Planning and Control Algorithm of Autonomous Vehicles in the Park[D]. Changchun: Jilin University, 2020. (王翔. 园区内自动驾驶车辆局部路径规划与控制算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.)
- [21] Zhou Wei, Li Jun. Research on Obstacle Avoidance Path Planning of Automatic Driving Vehicle[J]. *Autonomous Engineer*, 2018(5): 55-58. (周伟, 李军. 自动驾驶车辆避障路径规划研究综述[J]. 汽车工程师, 2018(5): 55-58.)
- [22] Xiao Hao, Song Xiaolin, Cao Haotian. Local Path Planning for Autonomous Vehicle Collision Avoidance Based on Dangerous Repellant Fields[J]. *Chinese Journal of Engineering Design*, 2012, 19(5): 379-384. (肖浩, 宋晓琳, 曹昊天. 基于危险斥力场的自动驾驶汽车主动避障局部路径规划[J]. 工程设计学报, 2012, 19(5): 379-384.)
- [23] Barnouti N H, Al-Dabbagh S S M, Sahib Naser M A. Pathfinding in Strategy Games and Maze Solving Using A* Search Algorithm[J]. *Journal of Computer and Communications*, 2016, 4(11): 15-25.
- [24] Cai Y F, Zhou R, Wang H, et al. Rule-Constrained Reinforcement Learning Control for Autonomous Vehicle Left Turn at Unsignalized Intersection[J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2023, 17(11): 2143-2153.
- [25] Chu K, Kim J, Jo K, et al. Real-Time Path Planning of Autonomous Vehicles for Unstructured Road Navigation[J]. *International Journal of Automotive Technology*, 2015, 16(4): 653-668.
- [26] Hayashi R, Isogai J, Raksincharoensak P, et al. Autonomous Collision Avoidance System by Combined Control of Steering and Braking Using Geometrically Optimised Vehicular Trajectory[J]. *Vehicle System Dynamics*, 2012, 50(sup1): 151-168.
- [27] Liu T, Huang B, Deng Z J, et al. Heuristics-Oriented Overtaking Decision Making for Autonomous Vehicles Using Reinforcement Learning[J]. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2020, 10(4): 417-424.
- [28] Zhou X C, Kuang D M, Zhao W Z, et al. Lane-Changing Decision Method Based Nash Q-learning with Considering the Interaction of Surrounding Vehicles[J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2020, 14(14): 2064-2072.
- [29] Li Shengbo, Guan Yang, Hou Lian, et al. Key Technique of Deep Neural Network and Its Applications in Autonomous Driving[J]. *Journal of Automotive Safety and Energy*, 2019, 10(2): 119-145. (李升波, 关阳, 侯廉, 等. 深度神经网络的关键技术及其在自动驾驶领域的应用[J]. 汽车安全与节能学报, 2019, 10(2): 119-145.)