

引文格式:应申,蒋跃文,顾江岩,等.面向自动驾驶的高精地图模型及关键技术[J].武汉大学学报(信息科学版),2024,49(4):506-515.DOI:10.13203/j.whugis20230227



Citation: YING Shen, JIANG Yuewen, GU Jiangyan, et al. High Definition Map Model for Autonomous Driving and Key Technologies[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2024, 49(4):506-515.DOI:10.13203/j.whugis20230227

# 面向自动驾驶的高精地图模型及关键技术

应 申<sup>1,2,3</sup> 蒋跃文<sup>1</sup> 顾江岩<sup>1</sup> 刘之林<sup>1</sup> 梁沅宜<sup>1</sup>  
郭 迟<sup>4,5</sup> 刘经南<sup>4,5</sup>

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 武汉大学地球空间信息技术协同创新中心,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 湖北珞珈实验室,湖北 武汉,430079

**摘要:**高精地图作为自动驾驶中不可或缺的环节,其发展将在很大程度上影响自动驾驶水平。现有高精地图模型多样,面向机器思维不足,缺乏面向“人-车-路-图”的系统思维。基于分层更明确、要素更全面和用户特征更突出三方面的考量,细化和充实四层一体化高精地图模型,详细阐述了静态数据层、道路实时信息层、车辆动态信息层和用户模型层的内容和功能;指出了高精地图云边端协同更新机制、路口安全信息框架、交通事件驱动的导航决策3个关键技术如何支撑自动驾驶全局和局部路径导航决策以及车辆控制;从感知、定位、决策、控制4个层面解释了高精地图平台对自动驾驶的支持。

**关键词:**自动驾驶;高精地图模型;导航决策

中图分类号:P208

文献标识码:A

收稿日期:2023-06-28

DOI:10.13203/j.whugis20230227

文章编号:1671-8860(2024)04-0506-10

## High Definition Map Model for Autonomous Driving and Key Technologies

YING Shen<sup>1,2,3</sup> JIANG Yuewen<sup>1</sup> GU Jiangyan<sup>1</sup> LIU Zhilin<sup>1</sup> LIANG Yuanyi<sup>1</sup>  
GUO Chi<sup>4,5</sup> LIU Jingnan<sup>4,5</sup>

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

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

5 Hubei LuoJia Laboratory, Wuhan 430079, China

**Abstract:** High definition (HD) map is an indispensable part of autonomous driving, and its development will greatly affect the level of autonomous driving. The existing HD map models are diverse, lacking the systems thinking of “human–vehicle–road–map”, and the vehicle-oriented consideration is not thoughtful enough. Based on the consideration of more explicit layers, more comprehensive elements and more prominent user characteristics, we attempt to refine and enrich the data logic structure of intelligent high precision map, and elaborate the contents and functions of static data layer, road real-time information layer, vehicle dynamic information layer and user model layer in detail. We point out three key technologies, the collaborative updating mechanism of “cloud–edge–vehicle”, the intersection safety information framework, and the navigation decision-making driven by traffic event. It describes how these three key technologies support the global and local path navigation decisions and the control of autonomous vehicle. Decision supports of HD map for autonomous driving are explained from four aspects, perception, positioning, decision-

基金项目:国家重点研发计划(2021YFB2501101)。

第一作者:应申,博士,教授,主要研究领域为地图学、3D GIS与三维地籍、高精地图等。shy@whu.edu.cn

sion-making, and control.

**Key words:** autonomous driving; HD map model; navigation decision

2021 年,国家“十四五”规划和 2035 远景目标纲要提出要加快建设交通强国和数字化发展。交通运输部和科学技术部针对这一目标要求推动交通基础设施数字化升级,提出要开发新一代智能交通系统,促进自动驾驶加快应用。2022 年,国务院提出要构建现代综合交通运输体系,构建“车-路-交通管理”一体化协作的智能管理系统,建设自动驾驶监管平台以加强城市交通精细化管理。由此可见,自动驾驶的迅猛发展在国家交通强国建设中起着举足轻重的作用。自动驾驶的日益发展使得其对地图的要求日益苛刻,传统电子导航地图无法支撑自动驾驶车辆的场景感知定位与认知、决策规划和控制执行等一系列驾驶行为,因此高精地图应运而生,成为自动驾驶汽车不可或缺的关键基础设施之一<sup>[1]</sup>。高精地图是指具有高精度、高鲜度、高丰度的电子地图,包含详细的道路、车道、交通设施等静态信息,以及道路实时路况等动态信息<sup>[2-3]</sup>。相较于普通导航电子地图,面向自动驾驶的高精地图数据精度更高(绝对精度可达厘米级)、道路信息更丰富翔实(包含车道数量、宽度、坡度和曲率等)、数据的实时性也更高(能够反映道路交通最新可通行情况)。高精地图是自动驾驶的核心技术之一,亦是自动驾驶汽车控制的关键<sup>[4]</sup>。高精地图是自动驾驶车的知识库和解读的交通规则字典,亦是自动驾驶车不受干扰的眼睛和必要的冗余安全保障。自动驾驶汽车的摄像头、雷达等感知设备监测范围有限,高精地图能够为自动驾驶汽车提供先验的全局道路交通和局部行车环境信息,实现自动驾驶车辆超视距感知,进行全局路线规划和局部路径导航<sup>[5]</sup>。当雨雪天气道路路面被积水覆盖,车载传感器探测不到可通行的正常道路信息时,或车载感知设备受雨雪影响无法正常工作时,高精地图可以帮助自动驾驶车辆“看清”车道线,为其提供精确的车道坡度、车道曲率以及详细的道路交通标志、道路交通标线等信息,按照交通规则并结合实时路况信息为自动驾驶汽车提供即时路径规划,提升车辆的控制性能,实现安全驾驶<sup>[6]</sup>。

随着自动驾驶等级的提高,对高精地图的要求也越来越高,合理、有效且适用性强的高精地图模型逐渐成为业内研究的重点方向。当前,车企、图商、学界纷纷开展了对高精地图模型和数

据逻辑组织结构的研究<sup>[7-9]</sup>。贺勇等<sup>[10]</sup>将高精细地图数据逻辑结构划分为道路网络信息层、车道网络层、车道线层和交通标志层 4 层,应用于车道级导航、高级驾驶辅助系统(advanced driving assistance system, ADAS)以及智能车。武汉大学刘经南团队提出了包含静态地图层、实时数据层、动态数据层和用户模型层的四层一体化高精地图模型<sup>[2]</sup>。清华大学李克强团队将自动驾驶高精地图划分为道路级路网层、宏观动态层、中间层(数据关联)、车道级细节层、虚拟传感器层(辅助定位及感知)、动态障碍物层和驾驶员层 7 层<sup>[11-12]</sup>。HERE 公司提出了包含道路模型层、车道模型层和定位模型层的三层基础架构高精地图模型,并在此基础上增加了动态信息层和驾驶行为分析层,用于补充更丰富的自动驾驶辅助信息<sup>[13]</sup>。博世公司提出的局部动态地图模型将高精地图划分为静态数据层、半静态数据层、半动态数据层和动态数据层 4 层<sup>[14]</sup>。团体标准《自动驾驶地图采集要素模型与交换格式》中将高精地图划分为采集场景基本信息层、道路交通标志层、道路交通标线层、其他道路安全设施物层和智能路侧设备层 5 层<sup>[15]</sup>。团体标准《自动驾驶地图动态信息数据交换格式》中将动态信息划分为交通事件图层组、实时感知信息图层组、交通流量信息图层组、气象环境图层组和统计信息图层组 5 个图层组<sup>[16]</sup>。从一系列模型组织和标准规范来看,高精地图总体上应包含丰富翔实的静态道路数据信息、瞬息万变的动态行车环境信息以及用于服务个性化需求的用户信息,以支持自动驾驶汽车智能导航规划决策和车辆控制。

尽管当前行业内对高精地图在自动驾驶中的必要性和重要性基本达成共识,但尚未形成统一的数据组织结构、共识性的数据表达方式和完备的国家级标准规范,不利于高精地图数据传输共享、规模化生产与应用。因此,本文在文献[2]提出的智能高精地图数据逻辑结构基础上充实和细化四层一体化高精地图模型,旨在建立一个简明通用的自动驾驶高精地图模型逻辑框架,来增强高精地图的普适性,推动自动驾驶进一步发展。

## 1 四层一体化高精地图模型

自动驾驶高精地图模型一般具有多层逻辑

结构,由各种类型数据组合而成,以反映道路路况、交通环境等不同层面的信息。鉴于当前自动驾驶高精地图存在的问题与挑战,综合分析现有的各种高精地图模型和数据逻辑结构,参考 Geographic Data Files (GDF)、Navigation Data Standard (NDS)、OpenDRIVE 等国际标准和《道路高精导航电子地图数据规范》《智能运输系统智能驾驶电子地图数据模型与交换格式》等国内标准<sup>[17]</sup>,本文在四层一体化模型基础上,构建面向中国道路特征、适用于国内交通环境的自动驾驶高精地图模型架构,助力国内自动驾驶发展。中国幅员辽阔、地域差异明显,超长的隧道、复杂的路口、错综的高架和立交等屡见不鲜;中国道路具有路网密度低、横断面变化频率高(车道数频繁增加或减少)等显著特征,且混合交通情况突出,尤其是道路交叉口,交通参与者活动模式更为繁杂;中国采用右行规则,路口多数允许左转、讲究礼让。这些均给国内自动驾驶发展带来了挑战。本文构建的高精地图模型兼顾中国道路特征和道路元素(路)进行逻辑组织,依据中国交通规则构建拓扑规则,区分以道路全局为主的宏观实时信息(路)和以车辆及周边局部行车环境为主的中微观动态信息(车),构建更完备的用户(人、车)模型数据集(见图 1),力图服务于更安全、更舒适的自动驾驶。“人-车-路-图”高精地图作为信息集成汇总平台,充当自动驾驶大脑的角色,能够直接参与车辆控制。高精地图平台可实现多类型数据存储与查询、信息更新与跨层索引,支持高精地图知识图谱构建,指导交通事件驱动的导航决策,实时调整局部路径规划和驾驶行为。

### 1.1 静态数据层

静态数据层用于描述和记录真实环境中长期保持不变的客观道路环境对象,刻画数字交通基础设施,主要包括道路网、车道网、交通设施、兴趣点(point of interest, POI)等(见图 2)。

道路网指道路级路网数据,用于提供全局导航信息,支持道路级路线规划。车道网指车道级路网数据,包括车道具体细节信息,如车道宽度、车道坡度、车道曲率以及车道通行方向等,用于车道级路径规划。交通设施包括交通标志、交通标线、路侧设施等。考虑到静态要素全面性与服务功能多样性,将导航电子地图中的服务点 POI 信息纳入高精地图。POI 信息包括银行、机场、酒店、医院、体育场、收费站点等,既能用于满足用

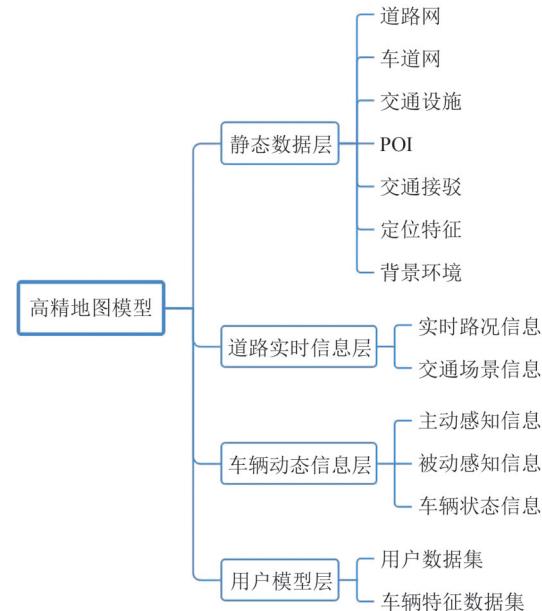


图 1 高精地图模型的组织结构

Fig. 1 Organization Structure of High Definition Map Model

户服务需求,亦可作为特征地物辅助车辆定位<sup>[18]</sup>。为了满足驾驶员或乘员在出行中的换乘需求,增添了与其他交通体系的接驳点信息,包括与铁路、水路、公共交通(如公交、地铁)等的换乘点。定位特征包括部分或全部可辅助自动驾驶车辆定位的道路交通标志、交通标线、路侧设施和固定地物等,主要用于在弱信号或无信号条件下辅助自动驾驶车辆定位。背景环境信息包括行政区划以及地表覆盖(山脉、河流、森林、湖泊)等,用于为自动驾驶提供地理环境信息。

静态数据层可为自动驾驶车辆提供丰富翔实的道路语义信息和全面、准确的道路先验信息,实现超视距、无盲区和全局路线规划<sup>[2]</sup>。典型应用场景如道路被落叶、积水或积雪覆盖,传感器感知不到路面信息或感知不准确时,融合定位信息触发的随动高精地图可为自动驾驶车辆提供完备的道路边线、车道边线等先验信息,帮助自动驾驶车辆“看清”道路,引导车辆正常安全行驶。

### 1.2 道路实时信息层

道路实时信息层是以聚焦道路和车道单元来描述实时交通环境。鉴于混合交通瞬息万变的场景特征,它需时刻关注宏观或中观道路、车道上影响车辆决策的行人、行车实况信息,包括实时路况信息和交通场景信息,用于确定导航路线(图 3)。实时路况信息包括天气信息、交通限制信息、交通流量信息等,用于实时更新宏观全局路况信息,以支持自动驾驶车辆及时优化导航

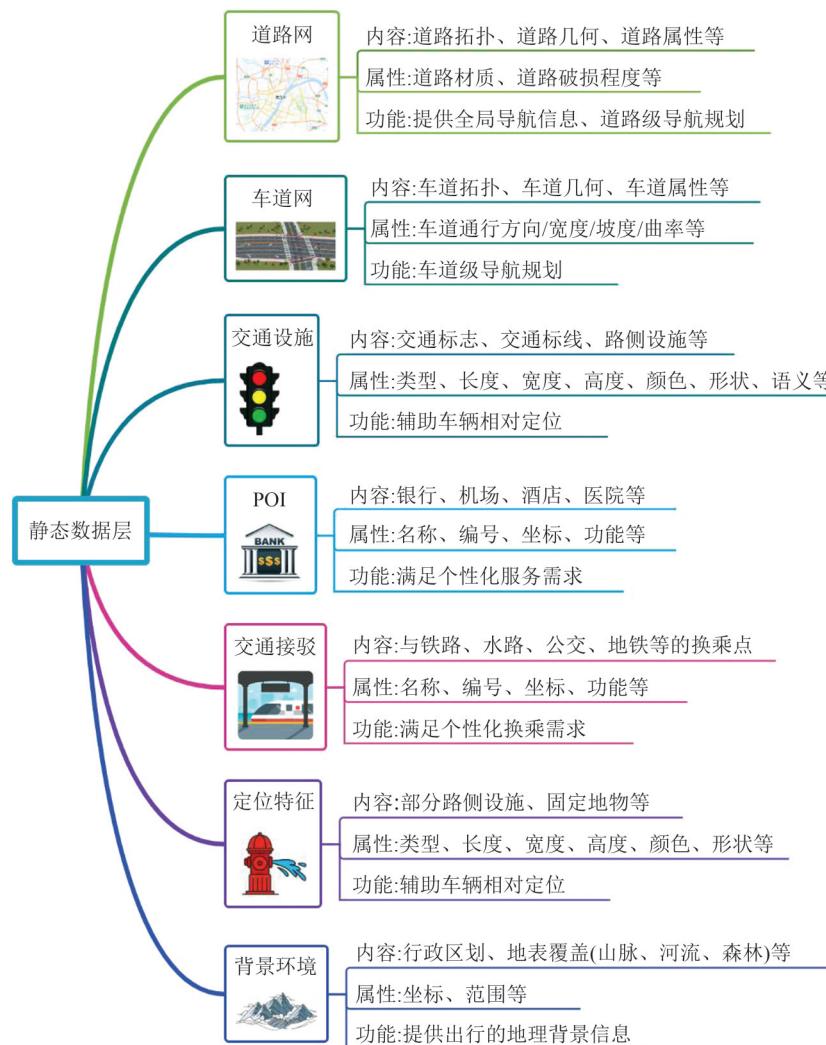


图 2 高精地图模型的静态数据层

Fig. 2 Static Data of High Definition Map Model

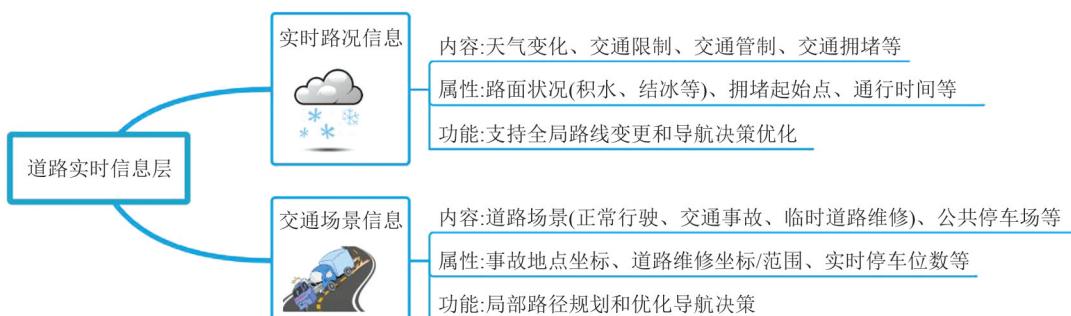


图 3 高精地图模型的道路实时信息层

Fig. 3 Road Real-Time Information of High Definition Map Model

决策<sup>[16]</sup>。中观尺度上,交通场景信息包括道路场景信息和公共停车场信息;道路场景信息包括正常行驶场景信息、交通事故场景信息、临时道路维修场景信息等,用于应对车辆实时路径规划;公共停车场信息主要包含停车场实时车位信息,将其关联停车场的基本属性信息(车位分布),可用于自主泊车<sup>[16]</sup>。高精地图作为一个系统平台,可接入来自气象局、交通局、车联网等不同来源

的信息,并对信息进行综合处理,如当原规划路线中有路段发生交通拥堵时,拥堵信息将通过车联网被实时接入高精地图平台,系统将根据拥堵信息重新为自动驾驶车辆规划新的行驶路线,以规避拥堵路段。

### 1.3 车辆动态信息层

车辆动态信息层聚焦自动驾驶车辆,关注车辆本身瞬时的驾驶行为和操作及其周边局部场

景的实时变化。车辆动态信息层包括主动感知信息、被动感知信息和车辆状态信息,主要用于辅助车辆实时控制<sup>[19]</sup>(见图4)。主动感知信息是指自动驾驶车辆通过传感器主动感知的车辆周边其他交通参与者、静态障碍物的位置、状态和趋势,以及交通信号灯变化等信息<sup>[19]</sup>。被动感知信息是指来源于自动驾驶车辆传感器之外、由路侧单元等外部系统提供的道路局部场景动态信息,包括云端分发的车辆周边交通信息,如交叉路口信息,经过高精地图平台处理后,解析到道

路或车道上,可有效应对转弯后的视野盲区,避免交通事故发生。车辆状态信息是指自动驾驶车辆运行的瞬时状态信息,如车辆当前速度、加速度、位置和行驶方向等。通过车辆动态信息层提供的局部实时交通场景信息,自动驾驶车辆可对周边移动物体的运动轨迹进行预判,并对特殊场景进行预警,如闯红灯预警、异常车辆提醒、变道或逆向超车预警、通过路口时与其他交通参与者的碰撞预警等,及时作出响应,进行车辆控制以规避冲突。

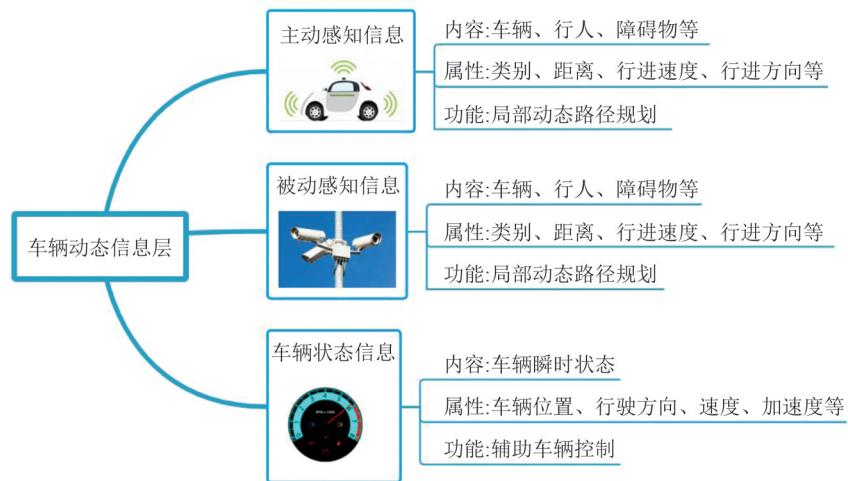


图4 高精地图模型的车辆动态信息层

Fig. 4 Vehicle Dynamic Information of High Definition Map Model

#### 1.4 用户模型层

用户模型层旨在以用户为中心,满足用户(管理员、驾驶员和乘客、自动驾驶汽车)常规或特殊需求,提前设置和实时调整车辆控制策略。用户模型层包括用户数据集和车辆特征数据集(见图5),将人和车的特征信息分开,旨在既更好地服务于以人为本的个性化路径规划,又扩大高精地图的服务范围,如货车、救援车、小汽车等<sup>[20-21]</sup>。鉴于L2/L3级别下驾驶员对车辆运行有决定性影响,因此用户数据集同时包括驾驶员特征信息和乘员特征信息。其中,驾驶员特征信息主要包括驾驶员的驾驶行为、驾驶习惯(如左/右转)、驾驶偏好(如平稳道路、红绿灯少、高架)、驾驶技能、身体状况等个性化信息,乘员特征信息主要包括乘员数量、乘员年龄和类别、性格特点、特殊要求(如避开收费站)等信息。为保护用户隐私,可将人员信息设置为可选项或做成驾驶经验模式集,不涉及用户真实身份信息,应需选择。车辆特征数据集主要包括车身结构、车辆配置、车辆机械力学性能等内容。车辆特征信息的采集是非常必要的,车辆参数(车身尺寸、最小转

弯半径、发动机功率、制动性能等)和行驶轨迹与静态数据层的道路、车道参数共同参与计算,将直接作用于车辆运动控制,结合实时路况信息、动态感知信息和用户信息,实现局部路径及时变更优化,满足驾驶服务需求。

## 2 高精地图的关键技术

高精地图作为自动驾驶汽车的“标配”,随着自动驾驶等级的提高,其重要性和被依赖性也越强。高精地图模型不仅是为自动驾驶提供基础的数据定义,更重要的是支持自动驾驶规划、控制的分析和计算,直接贯穿各关键技术。为便于驾驶员和车辆面对不同驾驶场景时能够及时掌握交通状况并作出决策响应和规划控制反馈,保证高精地图的高精度和高鲜度尤为重要,这使得高精地图更新和分发成为必不可少的环节之一。复杂交通环境(尤其是人车混行的岔路口)是自动驾驶车规划决策和运行的重点关注区域,构建路口安全信息框架更利于驾驶员或车辆对路况进行准确判断。在进行驾驶决策时,构建高精地

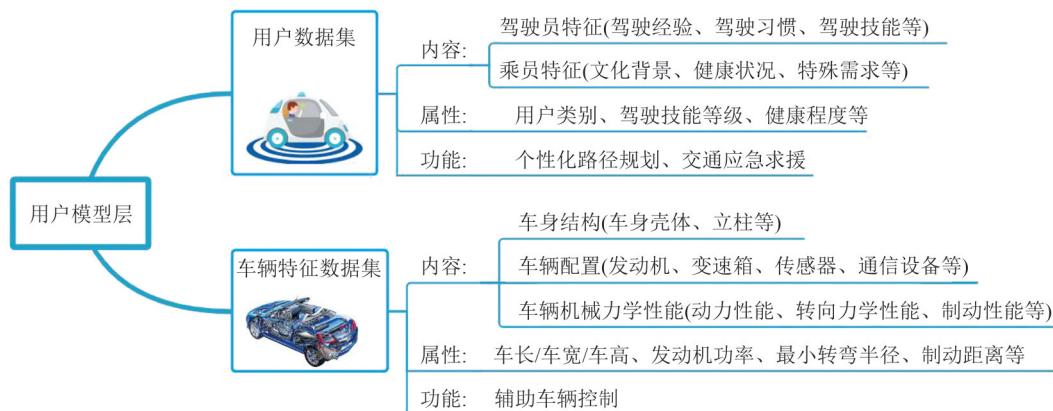


图 5 高精地图模型的用户模型层

Fig. 5 User Model of High Definition Map Model

图知识图谱可为驾驶员和车辆提供合理的导航规划决策和正确的驾驶操作指南。

## 2.1 高精地图的更新与分发机制

高精地图信息滞后会大大降低自动驾驶的安全系数,使行车风险显著提高。为保证高精地图数据的精确性、丰富性、时效性及行车安全性,地图更新是关键。设计长效更新与动态更新的云边端协同机制(见图 6),进行以用户行车为中心的高精地图自我调整、组织与更新是有效手段。长效更新频率较低、周期较长、数据有效时间较持久,数据来源以众包车辆和专业采集车为主<sup>[22]</sup>,更新对象主要是静态数据,包括道路网、车道网和路侧设施等;搭建车-路-边-云互通的广域高精地图长效更新机制,可实现大范围、全要素、强关联的更新。众包地图更新是高精地图更新的重要手段,更新频率高、周期短,数据源有自动驾驶车辆、众包车辆和智能路侧设备<sup>[23]</sup>,以及政府部门的推送和公众掌握的众包数据等;更新内容为静态数据层、道路实时信息层和车辆动态信息层的部分信息,包括交通标志、交通标线、道路临时施工、交通拥堵、临时障碍物信息以及车辆周边动态环境信息等。构建以云端-边端-车端协同、感知数据共融的分发与更新机制,形成以行车为中心的数据交互,可实现高精地图的局部动态更新。边端具有快速或近实时更新能力,其将更新的局域特征信息上传到云端,云端根据车辆属性特征(车辆类型与配置、用户需求、运行速度与方向等)、属地特征(车辆当前位置、途经地区、目的地等),以及局部动态信息(交通事故、交通流量、临时标志等),车辆将不同来源的信息进行有效处理与整合,构建局部动态地图,帮助自动驾驶车辆实现精确定位、路径优化和车辆控制。

## 2.2 路口安全信息框架

自动驾驶车辆在复杂路口场景中的安全高效行驶备受重视。由于路口具有多样性(路口类型和场景多样)、复杂性(交通参与者类型、通行方式和决策能力各异)、实时性(交通环境瞬息万变)和行驶位置约束精确性等特点,车辆行驶规划决策和控制难度相较于普通道路段大幅提升,构建“道路网-车道网-路口标识-场景模式”的路口安全信息框架能够有效解决车辆通过路口的问题(见图 7)。道路网、车道网和路口标识能够为车辆提供丰富翔实的道路网、车道网、交通标志、交通标线信息,用于全局和局部路径规划。场景模式覆盖多种路口类型(如三岔路口、四岔路口、复合交叉路口等),具有完备的车道变换规则以及丰富的路口空间障碍物信息、导流线信息、隔离带或环岛信息等,车辆可根据不同的场景模式实行相应操作。路口安全信息框架提供的丰富环境信息可有效支撑自动驾驶车辆进行冲突区预判以及路口可视化表达,并结合交通规则约束进行路权优先度划分,最终实现自动驾驶局部路径规划和车辆控制。在人机共驾模式下,路口安全信息框架对于人接管的复杂路口场景,可同时提供宏观道路路况和微观路口交通态势,利于驾驶员掌握全局驾驶环境和局部驾驶态势,明晰车辆当前位置和处境,作出正确的驾驶行为。

## 2.3 交通事件驱动的导航决策

由于高精地图数据量大、数据类型繁杂,在自动驾驶车辆导航决策规划中,信息检索和平台计算效率面临很大挑战,构建包含道路事实类与驾驶规则类的知识决策库和基于交通事件与道路场景驱动的高精地图知识图谱,能够有效提高自动驾驶决策和行车效率。决策知识库中的道

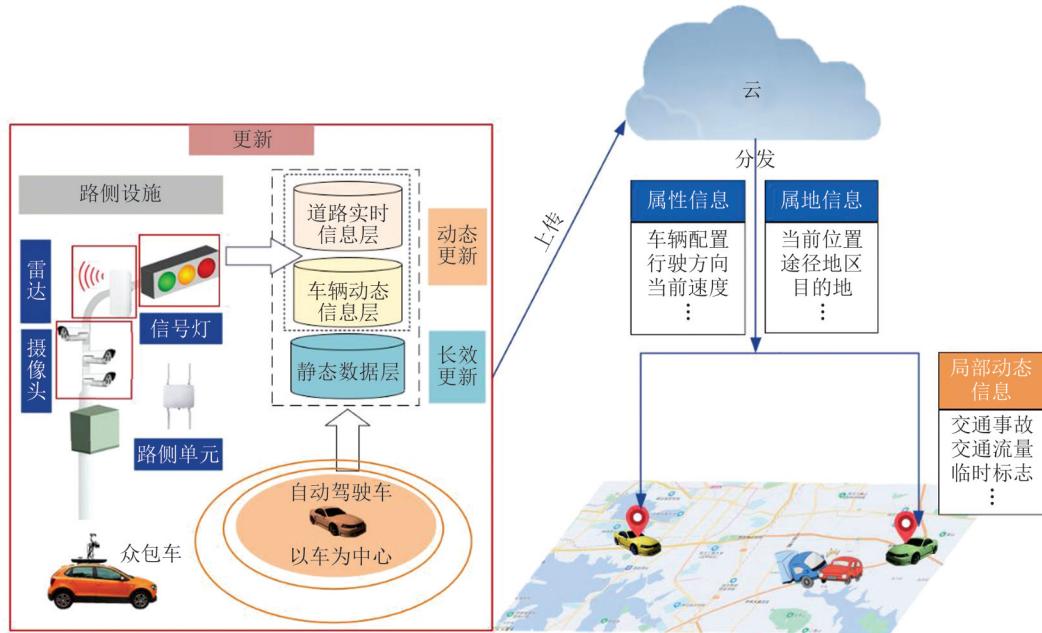


图6 云边端协同更新机制

Fig. 6 Cloud-Edge-End Collaborative Update Mechanism

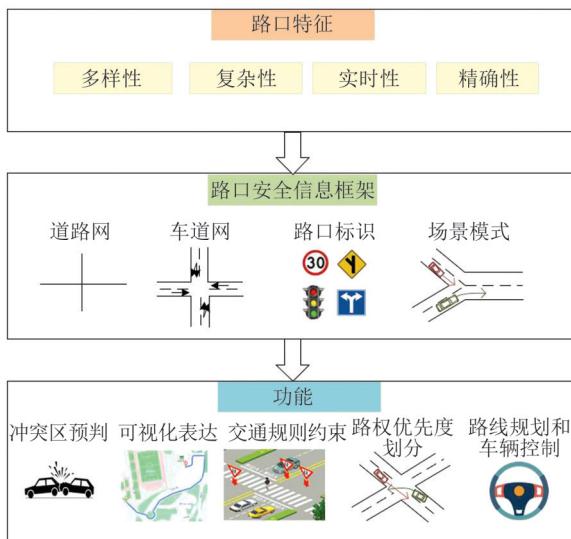


图7 路口安全信息框架

Fig. 7 Intersection Safety Information Framework

路事实类知识包括道路网、车道网、交通设施等，驾驶规则类知识包括驾驶经验、交通规则以及应急处理方法，用于支持车辆在各种驾驶场景中的行为决策制定和车辆驾驶行为规范，形成合理的高精地图智能导航决策机制。全面概括车辆行驶过程中所需的高精地图要素，利用知识抽取与融合算法，构建面向复杂交通事件（自然灾害、交通管制、交通事故、交通拥堵、车辆故障等）和自动驾驶车辆（当前任务、车辆状态、周边路况）、适用于L2/L3级别无人机共驾二元主体的高精地图知识图谱，实现车辆感知信息（其他车辆、交通标志牌、移动障碍物等）的快速提取与处理，帮助自

动驾驶车辆理解丰富的驾驶场景语义，形成导航规划，实现决策控制（见图8）。

### 3 高精地图自动驾驶决策流程

高精地图作为自动驾驶车辆的“指挥官”，可从场景感知、地图匹配定位、行车决策和车辆控制四方面为自动驾驶车辆提供支撑。在场景感知层面，高精地图作为信息载体和交互平台，可为自动驾驶车辆提供丰富的道路先验信息，突破传感器性能的物理边界，在车载感知设备受限时实现全场景、超视距的感知服务。在地图匹配定位层面，高精地图依托翔实且精确的道路网、车道网、交通设施数据，结合多源传感器融合定位技术，匹配车辆实时感知信息，实现车辆定位，尤其在GNSS/IMU信号缺失或基于激光雷达的特征匹配方案存在不足时，通过定位特征参考信息与场景匹配帮助自动驾驶车辆精准判断周边环境，为其提供高精度、高可靠的定位结果<sup>[24]</sup>。在行车决策层面，仅靠感知识别系统对于道路交通环境信息的捕捉，很难作出符合交通规则、适应动态变化交通场景的全局路线规划和局部路径决策。凭借丰富且精确的动、静态道路信息（道路边线、车道限速、交通流量、交通管制等）和完备的用户信息（驾驶偏好、驾驶经验、用户需求、车辆特征等），高精地图可为自动驾驶车辆提供用于路径决策规划的关键信息，形成以安全、舒适为核心的智能化导航。在控制层面，高精地图

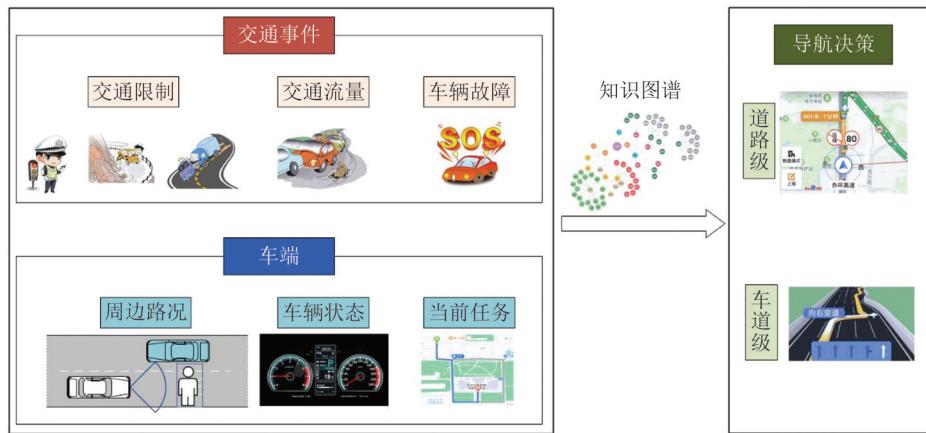


图 8 交通事件驱动的导航决策

Fig. 8 Navigation Decision Driven by Traffic Events

作为自动驾驶的大脑,通过“车-路-图”跨层联动的动、静态数据高效处理,根据行车规范、车道曲率、实时交通环境等信息,采用控制算法辅助自动驾驶车辆完成转向、变道、加/减速等控制行为。

交通事件场景驱动下,高精地图在自动驾驶导航决策中起着关键作用(见图9)。根据用户指定的起止点,高精地图利用静态数据层中的道路网、POI 和定位特征参考信息以及用户模型层中的驾驶员、乘客和驾驶经验信息为车辆规划全局行车路线。当规划路线上出现特殊交通事件,如交通事故、交通管制或临时道路维修,影响行车安全和效率时,高精地图将根据自动驾驶车辆当前位置和目的地坐标重新规划路线。车辆动态

信息层中感知的车辆周边信息与静态数据层中的定位特征参考信息进行实时匹配、反向定位,更新车辆位置进而触发决策。根据静态数据层提供的道路网和车道网信息、道路实时信息层提供的道路最新可通行信息、用户模型层提供的用户需求信息(避开事故地点、管制路段和拥堵路段等),借助知识图谱为车辆重新规划局部行车路径,结合车辆动态信息层提供的自行车行驶方向、速度、加速度信息与车辆周边动态交通环境信息制定驾驶策略(调头、变道、转向等),实现车辆控制,最终安全高效抵达目的地。高精地图通过信息跨层联动为自动驾驶保驾护航,未来自动驾驶在“车-路-云-图”的协同下将逐渐向更高级别发展<sup>[25-27]</sup>。

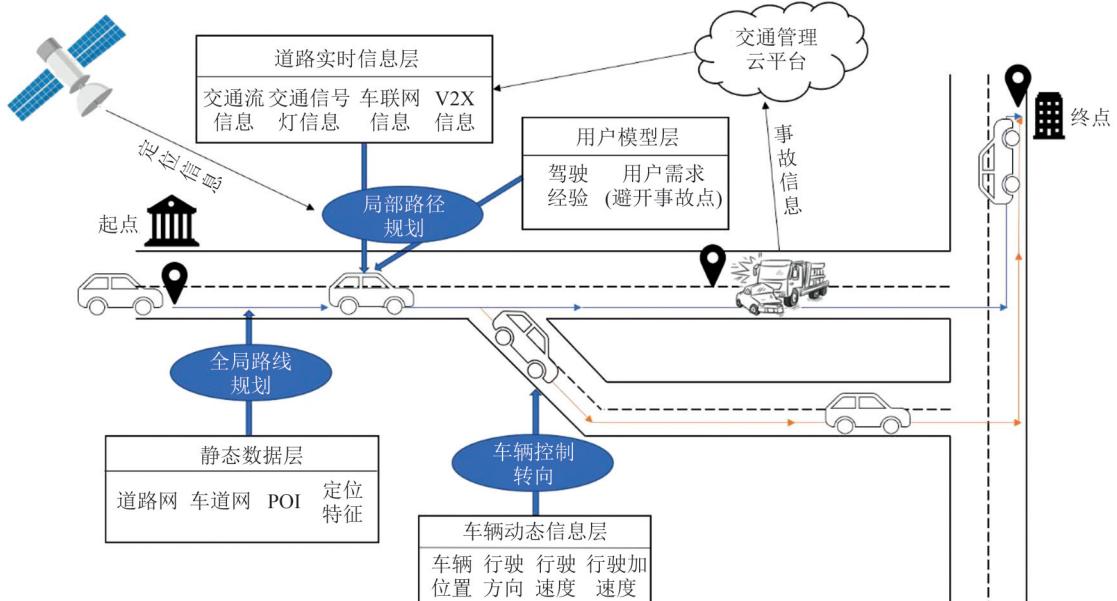


图 9 高精地图模型对自动驾驶车辆决策控制的支撑

Fig. 9 Support of High Definition Map Model for Decision-Making Control of Autonomous Vehicles

## 4 结语

高精地图作为自动驾驶的基石,其逻辑框架和数据组织结构的不断规范与完善将推动自动驾驶进一步发展。本文充分考虑了高精地图的服务特征,对四层一体化模型进行了细化和充实,强调了数字交通基础设施建设、以道路/车道为中心的静态信息与实时信息、以车辆为中心的动态信息与车辆特征参数信息、以用户为中心的驾驶经验集与驾驶需求信息。本文提出的高精地图模型为自动驾驶提供了较为完善的“人-车-路-图”系统思维,并从云边端的数据协同更新与分发、路口安全信息框架、交通事件驱动的导航决策关键技术角度,结合感知、定位、决策、控制四方面探讨了高精地图对自动驾驶决策的支撑。高精地图与实时匹配定位技术形成了自动驾驶的核心,以此推动数字交通基础设施建设,促进自动驾驶和智慧交通发展。

## 参考文献

- [1] Liu Jingnan, Wu Hangbin, Guo Chi, et al. Progress and Consideration of High Precision Road Navigation Map [J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(2): 99–105. (刘经南, 吴杭彬, 郭迟, 等. 高精度道路导航地图的进展与思考[J]. 中国工程科学, 2018, 20(2):99–105.)
- [2] 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.)
- [3] 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.)
- [4] Liu Jingnan, Dong Yang, Zhan Jiao, et al. Thoughts and Suggestions on Autonomous Driving Map Policy [J]. *Strategic Study of CAE*, 2019, 21(3): 92–97. (刘经南, 董杨, 詹骄, 等. 自动驾驶地图有关政策的思考和建议[J]. 中国工程科学, 2019, 21(3):92–97.)
- [5] Zi Lu, Zhang Jiangshui, Yang Zhenkai, et al. Object Modeling Method of Traffic Elements in High-Precision Map [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2020, 37(6): 636–642. (訾璐, 张江水, 杨振凯, 等. 高精地图交通要素对象化建模方法[J]. 测绘科学技术学报, 2020, 37(6): 636–642.)
- [6] Yang Zhenkai, Hua Yixin, Zi Lu, et al. Analysis of the Development Status and Key Technologies of High-Precision Map [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2021(6): 54–60. (杨振凯, 华一新, 訾璐, 等. 浅析高精度地图发展现状及关键技术[J]. 测绘通报, 2021(6):54–60.)
- [7] Xu Chaowen, Liu Bin. Analysis of the Development Route of Autonomous Driving Maps [J]. *Auto Time*, 2021(2): 26–27. (许朝文, 刘斌. 自动驾驶地图的发展路线探析[J]. 时代汽车, 2021(2): 26–27.)
- [8] Matthaei R, Bagschik G, Maurer M. Map-Relative Localization in Lane-Level Maps for ADAS and Autonomous Driving [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, USA, 2014.
- [9] Jo K, Sunwoo M. Generation of a Precise Roadway Map for Autonomous Cars [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2014, 15(3): 925–937.
- [10] He Yong, Lu Hao, Wang Chunxiang, et al. Generation of Precise Lane-Level Maps Based on Multi-sensors [J]. *Journal of Chang'an University(Natural Science Edition)*, 2015, 35(S1): 274–278. (贺勇, 路昊, 王春香, 等. 基于多传感器的车道级高精细地图制作方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2015, 35(S1):274–278.)
- [11] Li Keqiang, Dai Yifan, Li Jiawen. Development Trends and Countermeasures of Intelligent Connected Vehicles [J]. *Intelligent Connected Vehicles*, 2018(1): 12–19. (李克强, 戴一凡, 李家文. 智能网联汽车发展动态及对策建议[J]. 智能网联汽车, 2018(1): 12–19.)
- [12] Jiang K, Yang D G, Liu C R, et al. A Flexible Multi-layer Map Model Designed for Lane-Level Route Planning in Autonomous Vehicles [J]. *Engineering*, 2019, 5(2): 305–318.
- [13] Herrtwich R. The Evolution of the HERE HD Live Map at Daimler [EB/OL]. (2018-02-27) [2023-03-17]. <http://360.here.com/the-evolution-of-the-hd-live-map>.
- [14] Shim I, Choi J, Shin S, et al. An Autonomous Driving System for Unknown Environments Using a Unified Map [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, 16(4): 1999–2013.
- [15] China SAE. Intelligent and Connected Vehicles Highly Automated Driving Map: Acquisition Element Model and Exchange Format: T/CASE 185—

- 2021[S/OL].[2023-05-17].<https://d.wanfangdata.com.cn/standard/ChRTdGFuZGFyZE5ld1MyMDIzMTIwNxIPVC9DU0FFIDE4NS0yMDIxGghoOGrtZzR2Mw==>.(中国汽车工程学会.智能网联汽车自动驾驶地图采集要素模型与交换格式:T/CASE 185—2021[S/OL].[2023-05-17].<https://d.wanfangdata.com.cn/standard/ChRTdGFuZGFyZE5ld1MyMDIzMTIwNxIPVC9DU0FFIDE4NS0yMDIxGghoOGrtZzR2Mw==>)
- [16] China SAE. Intelligent and Connected Vehicles: Dynamic Data Exchange Specification for Highly Automated Driving Map: T/CASE 269—2022 [S/OL].[2023-06-16].<https://d.wanfangdata.com.cn/standard/ChRTdGFuZGFyZE5ld1MyMDIzMTIwNxIPVC9DU0FFIDE4NS0yMDIxGghoOGrtZzR2Mw==>.(中国汽车工程学会.自动驾驶地图动态信息数据交换格式:T/CASE 269—2022[S/OL].[2023-06-16].<https://d.wanfangdata.com.cn/standard/ChRTdGFuZGFyZE5ld1MyMDIzMTIwNxIPVC9DU0FFIDE4NS0yMDIxGghoOGrtZzR2Mw==>)
- [17] 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.)
- [18] State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Data Model and Data Exchange Format for Navigable Spatial Database: GB/T 19711—2021 [S/OL].[2023-03-19]. Beijing: China Standard Press. (国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 导航地理数据模型与交换格式:GB/T 19711—2021[S/OL].[2023-03-19]. 北京:中国标准出版社.)
- [19] Li Jichi, Cai Dandan, Zeng Liqiang. Promoting the Innovative Development of Smart Cars: Construction and Application of Local Dynamic Map[J]. *Automobile and Parts*, 2021(11): 34-37. (李骥驰, 蔡丹丹, 曾立锵. 推进智能汽车创新发展:局部动态地图的构建与应用[J]. 汽车与配件, 2021(11): 34-37.)
- [20] Zhao Zhiguo, Li Yuan, Hu Haorui, et al. Detection of Driver's Abnormal Behavior Under Emergent Collision Avoidance Conditions[J]. *Automotive Engineering*, 2022, 44(3): 412-425. (赵治国, 李园, 胡昊锐, 等. 紧急避撞工况下驾驶员异常行为检测[J]. 汽车工程, 2022, 44(3):412-425.)
- [21] Ye Ming, Quan Hongqian, Liu Jingsheng, et al. A Driver Model for Lateral and Longitudinal Control Considering Road Conditions and Vehicle Speed[J]. *Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science)*, 2022, 36(10): 41-50. (叶明, 全洪乾, 刘景升, 等. 考虑道路条件和车速的横向纵向控制驾驶员模型[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2022, 36(10):41-50.)
- [22] Feng Chang, Du Qingyun, Fan Xiaoyu, et al. A Crowdsourcing Update Technology Route of HD Dynamic Map Basic Platform[J]. *Journal of Geomatics*, 2023, 48(1): 10-15. (冯昶, 杜清运, 范晓宇, 等. 高精动态地图基础平台众源更新技术路线研究[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(1):10-15.)
- [23] Yang Mengmeng, Jiang Kun, Wen Tuopu, et al. Review on Status and Challenges of Crowd Sourced Updating of Highly Automated Driving Maps[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2023, 36(5): 244-259. (杨蒙蒙, 江昆, 温拓朴, 等. 自动驾驶高精度地图众源更新技术现状与挑战[J]. 中国公路学报, 2023, 36(5):244-259.)
- [24] Yang Mingzhu. Auto-driving High-Precision Map Construction and Positioning Method Based on Edge Computing[J]. *Automation Panorama*, 2019(9): 30-33.
- [25] Shen C, Wang J P, Ma D D, et al. Research and Application of High-Precision Map in Intelligent Navigation[J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2021(17): 177-178.
- [26] Zhang Yanjie, Huang Wei, Liu Xintao, et al. An Approach for High Definition 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.)
- [27] Yin Zhangcai, Qi Ruyu, Ying Shen. 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.)