

引用格式:余卓渊,闫国年,张夕宁,等.全息高精度导航地图:概念及理论模型[J].地球信息科学学报,2020,22(4):760-771. [Yu Z Y, Lv G N, Zhang X N, et al. Pan-information-based high precision navigation map: concept and theoretical model[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(4):760-771.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190648

全息高精度导航地图:概念及理论模型

余卓渊^{1,2}, 闫国年^{3,4,5}, 张夕宁^{1,2}, 贾远信^{1,2}, 周成虎^{1,2}, 葛咏^{1,2*}, 吕可晶^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101;2. 中国科学院大学,北京 100049;
3. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室,南京 210023;4. 江苏省地理环境演化国家重点实验室培育建设点,南京
210023;5. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,南京 210023

Pan-information-based High Precision Navigation Map: Concept and Theoretical Model

YU Zhuoyuan^{1,2}, LV Guonian^{3,4,5}, ZHANG Xining^{1,2}, JIA Yuanxin^{1,2}, ZHOU Chenghu^{1,2}, GE Yong^{1,2*}, LV Kejing^{1,2}

1.State Key Lab of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 4. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographical Environment Evolution, Nanjing 210023, China; 5. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: Map is intelligent product of human civilization. The rapid development of science and technology increased the diversity and readability of map. Based on the existing concepts and forms of map, this paper developed a concept of pan-information-based high precision navigation map. This new map concept was a kind of intelligent navigation map which was oriented to vehicle mobile operation and integrated more functions, such as environment perception, pan-features fusion, high-precision positioning and planning decision-making. It can collect and fuse different information based on unified data model for different application fields, and it was a brand-new map form. Key innovation of this map was capturing and fusing pan-information of road from multi-source sensors, especially electromagnetic sensors, sound sensors, thermal infrared instruments and the others, in order to provide information for navigation from more aspects. Based on this concept, a theoretical model framework of pan-information-based high precision navigation map with multi-source data fusion was proposed. This framework consisted of four parts: (1) Pan-information road data collection. Data acquisition vehicles and other external sensors were used to collect multi-source data such as LiDAR system point cloud data, remote sensing images, oblique photogrammetric data, high-definition camera images, thermal infrared images, sound signal and electromagnetic signal. (2) Road static information extraction. Static information was basis for route planning and vehicle locating, which was obtained through the multi-source data mentioned above. The main road static information included lane lines, curbs, railings, road signs, road lamps, tunnels. (3) Road

收稿日期:2019-11-04;修回日期:2020-01-05.

基金项目:国家重点研发计划课题“全息地图数据获取与融合”(2017YFB0503501);国家自然科学基金创新群体项目(41421001)。[**Foundation items:** National Key Research and Development Program of China (Acquisition and Fusion of Pan-InformationMap Data), No.2017YFB0503501; Science Fund for Creative Research Groups of the National Natural Science Foundation of China, No.41421001.]

作者简介:余卓渊(1974—),男,浙江常山人,博士,副研究员,主要从事大数据地图可视化技术、方法与系统研究。

E-mail: yuzy@igsnr.ac.cn

*通讯作者:葛咏(1972—),女,新疆奎屯人,博士,研究员,主要从事地理时空统计方法研究。E-mail: gey@lreis.ac.cn

dynamic information extraction. Dynamic information was basis for real-time detecting surroundings and adjusting route of auto-vehicle, which was also obtained by extracting and marking the above collected data. The main road dynamic information included the distances between the vehicle and near objects, such as other cars, pedestrians and construction guardrails. Road dynamic information also included some ubiquitous information such as meteorological data, dynamic traffic conditions, POI data. (4) Fusion of dynamic and static information. Integrating road static information and road dynamic information can enrich road information, increase the accuracy of lane line, improve the updating efficiency of pan-information-based high precision navigation map, and provide map services for auto-driving vehicles and its navigation. Compared with the existing map concepts and technologies, the map proposed in this paper has two characteristics: more detailed road information and more efficient data update, and both of the characteristics were based on our richer data sources, more diverse data collection methods and more efficient information extraction algorithms.

Key words: navigation map; pan-information map; high precision navigation map; multi-source data collection; acousto-optic electromagnetic data; road static information; road dynamic information; information fusion

***Corresponding author:** GE Yong, E-mail: gey@lreis.ac.cn

摘要:本文提出了全息高精度导航地图的概念,它融合了多源数据,尤其是电磁传感器、声音传感器、热红外仪等传感器数据,从更多角度为导航提供信息。在此概念基础上,提出了一种融合多源数据的全息高精度导航地图理论模型框架,该框架包含4个步骤:①全息道路数据采集,包含道路三维彩色激光点云、遥感影像、无人机航拍倾斜测量数据、摄像头图像、热红外图像、声场信号、电磁场信号;②道路静态信息提取,从上述采集信息提取和标记得到,如车道线、路坎、栏杆、路牌、路灯、隧道等,作为无人驾驶车辆规划基础路线和车辆位置定位的数据基础;③道路动态信息提取,从上述采集信息提取和标记得到,如离前后车辆的距离、前方有无行人、道路施工护栏、泛在信息等,作为检测无人驾驶车辆周围的实时道路环境和规划无人驾驶车辆行驶路线的依据;④动、静态信息融合:融合道路静态信息和道路动态信息,丰富道路信息,提高道路精度,提高全息高精度导航地图更新的效率,为导航和无人驾驶车辆提供地图服务。

关键词:导航地图;全息地图;高精度导航地图;多源数据采集;声光电磁数据;道路静态信息;道路动态信息;信息融合

1 引言

现代地图学是科学技术信息化、自动化的产物。从20世纪60年代开始,中国著名科学家陈述彭先生就已致力于计算机自动化制图研究,极大地推动了中国自动化制图的进程^[1]。他主张的“地学信息图谱”的概念和方法开启了关于地图知识挖掘和图形思维的尝试^[2],丰富了现代地图学研究的时空分析理论与方法。如今,现代地图学蓬勃发展,地图概念和地图形式更加多样。随着互联网发展和社会需求变化,导航地图尤其高精度导航地图的出现和使用,使得地图的功能也发生漂移^[3]。

普通导航地图的主要作用是辅助人群进行路径规划和地理信息选择,其服务对象仅仅是人类。借助于人类的识别和逻辑能力,现代导航地图极大地提升了我们对未知位置的查找能力,减少了出行成本^[4]。随着互联网、车联网服务的全面发展,导航电子地图的服务对象已慢慢过渡到以无人驾驶汽车为代表的机器。然而,普通导航地图依赖的精简道路信息精度只有5 m左右,不能体现道路的细节信息

(如车道)^[5-6],这限制了当前无人驾驶技术的发展。

为克服传统导航地图的不足,同时满足无人驾驶的需求,学术界和工业界发展了高精度导航地图的概念和制作技术^[7-8]。高精度导航地图能够通过融合激光雷达、毫米波雷达、高分辨率光学传感器、惯性测量单元、GPS系统和轮测距器等传感器信息^[9-10],实时捕捉道路指示信息、车道状态、道路环境和车辆行驶状态,帮助自主导航汽车预先感知路面复杂信息,为自动驾驶的车辆提供厘米级的定位导航地图^[11-12]。目前,高精度导航地图在自动驾驶领域的应用研究较多,如基于高精度导航地图的车辆定位^[13]、非地图元素的过滤^[14]、高精度道路导航地图的构建^[15-16]、道路曲率计算^[17]等。同时,国内外许多企业根据自身优势,借助先进测量仪器与算法,也已投入到高精度导航地图的研发和生产工作中,如国外的Google、Here、CivilMaps、TomTom、Mobileye等和国内的高德、百度、四维图新等。

目前企业采集高精度导航地图数据主要有2种方式:通过专业的数据采集车获取;采用地图众包的方式。例如,百度Apollo一方面使用多辆载有

GPS、惯性测量单元、激光雷达和全景摄像机等的自动采集车获取道路数据,另一方面采用众包的方式让大众参与采集地图数据^[18],以降低成本和增强实时性。然而,尽管高精度导航地图已经能为自动驾驶提供重要的数据支持,但仍无法支撑全面的无人驾驶技术,无人驾驶从简单场景(限定区域内道路、固定路线、限定环境条件、限定特定功能)到复杂场景(城市道路、乡镇道路、非硬化道路)再到更广泛的应用场景(放射性环境检测、多任务机器人、军事探测)还面临很大挑战。

实际上,与人相比,机器恰恰是最需要周围环境全场景信息的。自2011年以来,全息位置地图和全息地图概念的相继提出和发展^[19-20],为高精度导航地图应用的推进和内涵的拓展提供了参考。全息位置地图的核心是位置,利用与地图位置相关的全信息和全要素,获取与位置关联的各种泛在信息,它是对现实四维时空与语义关系的全面描述,是地图位置本身以及与其相关所有特征综合体现的一种新型数字地图产品^[19,21]。朱欣焰等^[22-23]将以“人”为本的理念渗透到全息位置地图中,根据用户的需求,以位置为纽带动态关联事物或事件的多时态、多主题、多层次、多粒度的信息,提供个性化的智能位置服务。闫国年等^[24-25]、周成虎^[26]进一步从地理学的视角下,探讨了全息地图的概念和表达,将全息地图定义为在统一地球时空框架的基础上,对现实地理世界及其规律的全场景要素、全地理信息、全社会内容,以全视角、三维模型化、过程动态化、虚拟现实、虚实融合等多模态方法进行描述、表达、分析与服务的一种数字地图产品、一种人类普适性的交流语言。同时,将地理信息全息地图中“位置”的含义拓展到地理位置和人文社会位置两大方面,丰富了基于“位置”精准与个性化服务的内容。

尽管目前阶段高精度导航地图和全息地图均有重要发展,但是二者并未实现融合应用。同时,现阶段没有将遥感影像、无人机航拍数据、声音、热红外等数据融合制作高精度导航地图的方法。只有充分融合卫星遥感、无人机、热红外、声音、光强、电磁以及互联网、物联网等全要素、全信息、全内容,并将全息地图基于位置的个性化服务用于无人驾驶车辆,才能使高精度地图具有更好的智能决策和应对更多场景的能力。因此,本文结合高精度导航地图和全息地图的优势,提出了全息高精度导航地图的概念与理论模型方法,旨在扩展高精度地图的数据来源,进而充分为辅助驾驶和无人驾驶提供服务。

2 全息高精度导航地图概念、构架及特点

2.1 全息高精度导航地图的概念

本文在目前高精度导航地图的概念和技术之上,汲取全息地图的优势^[19],提出了全息高精度导航地图的概念。现有的高精度导航地图是全息高精度导航地图的一种基本形式、一个子集,它为全息高精度地图提供了重要的基础数据;全息地图的数据集成和表达方式则是全息高精度导航地图的范式指导。3种地图之间的关系如图1所示。

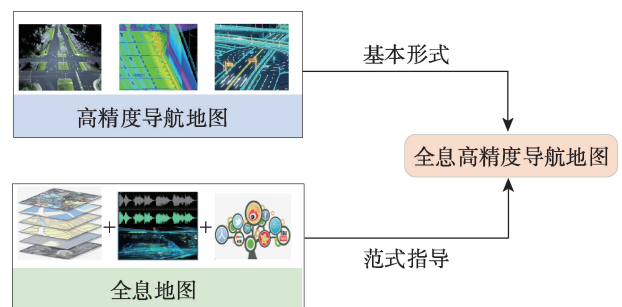


图1 3种地图之间的关系

Fig. 1 The relationship among three kinds of maps

本文提出的全息高精度导航地图是一种面向机器(车辆)的移动运算,集环境感知、全要素融合、高精度定位、规划决策的智能化导航地图。它能够针对不同的应用领域,基于统一的数据模型采集和融合不同的要素,是一种全新的地图形式。全息高精度导航地图的相关技术和方法通过获取和融合卫星遥感影像、激光雷达、声光电磁传感器、泛在信息网等多种类型数据,生成高精度和全要素的道路静态信息、动态信息。在此基础上,将各类型动、静态信息实时融合,制作成应用于无人驾驶车辆的全息高精度导航地图。在丰富道路信息的同时提高全息高精度导航地图的更新效率。

2.2 全息高精度导航地图的组成构架

本文提出的全息高精度导航地图的构架包括4部分(图2),分别是全息道路数据采集、道路静态信息提取、道路动态信息提取和动、静态信息融合。

第一部分是全息高精度导航地图的道路数据采集,这一环节为全息高精度导航地图的制作奠定基础,它主要通过全息高精度导航地图数据采集车以及其他外部传感器来实现。数据采集车通过在车辆内、外各有效位置安置传感器进行数据采集,各类传感器的布置和数据的集成组成了完整的全息道路数

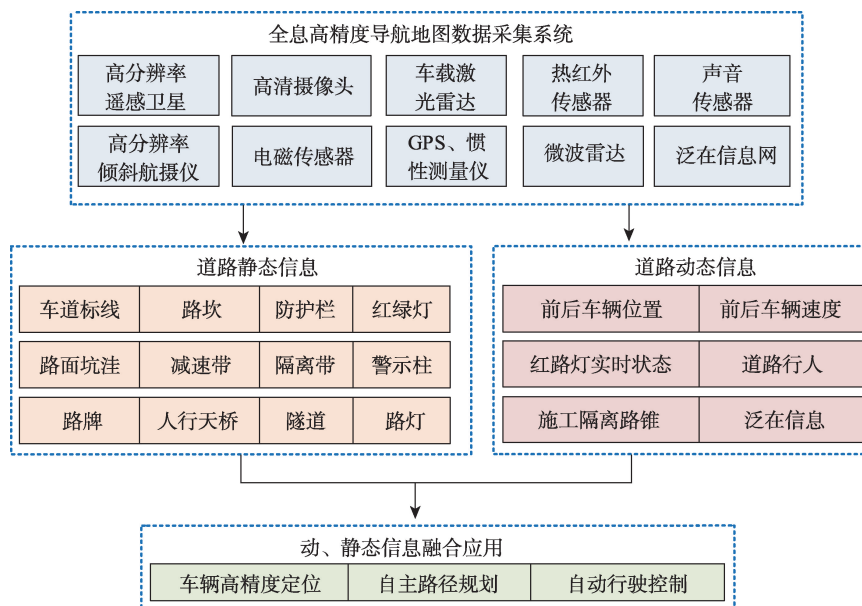


图2 全息高精度导航地图的构架

Fig. 2 Structure of pan-information-based high precision navigation map

据采集系统。例如,在车顶放置激光雷达、高清摄像头、GPS,用于彩色激光点云数据和坐标数据的采集;车前盖和车后盖放置热红外传感器、声音传感器,用于车辆周边实时行人的检测和声场信号的检测;前后保险杠处放置毫米波雷达,用于前后近距离障碍物的检测;另外还配置无线通讯设备、惯导等传感器,用于数据的无线传输和坐标数据的推算。其他车辆外部的传感器包括搭载在卫星或航空飞机上的高分辨率光学传感器、无人机倾斜航摄影等,这些传感器从更广的视角、更大的范围获取行驶车辆的道路环境信息。具体而言,高分辨率遥感卫星、无人机倾斜航摄影、高清摄像头、车载激光雷达、电磁传感器、GPS及惯性测量仪等,用于道路静态数据采集;高清摄像头、车载激光雷达、电磁传感器、GPS及惯性测量仪、热红外传感器、声音传感器和微波雷达等,用于动态道路数据采集。另外,动态道路数据采集还包括从以互联网、物联网、传感网为基本组成的泛在信息网获取实时泛在数据,如气象数据、动态交通路况、POI数据等。

第二和第三部分分别为从全息道路采集信息中提取和标记出道路静态信息和道路动态信息,这2个环节为全息高精度导航地图的构建提供高精度和实时性的保障。道路静态信息提取时首先将多源数据进行坐标转换和数据融合,然后通过多源匹配的格网数据获得诸如车道线、路坎、栏杆、路牌、路灯、隧道等信息,并将其存储到数据库中,作为无

人驾驶车辆规划基础路线和车辆位置定位的数据基础。道路动态信息利用多源数据提取与车辆行驶实时相关的信息,如离前后车辆的距离、前方有无行人、道路施工护栏以及泛在信息等,并通过位置关联、实时插值等技术将所提取的动态信息与当前环境关联,将其作为检测无人驾驶车辆周围的实时道路环境和规划无人驾驶车辆行驶路线的依据。

第四部分是动、静态信息融合,是全息高精度导航地图应用模式的集中体现。①高精度的静态信息可精确刻画自动驾驶环境,在利用地图匹配算法实现车辆定位的过程中,道路动态信息可用于实时探测车辆与周围物体的距离,加之全息高精度导航地图特有的声光电磁数据的辅助,实现车辆实时高精度定位;②静态信息提供了丰富的先验信息用于驾驶路径的全局规划,交通信号灯、与周围物体的距离等动态信息则用于局部路径规划。同时,全息高精度导航地图中的泛在信息网(互联网等)数据可进一步修正规划方案。③静态信息含有丰富的道路语义信息来约束和控制车辆行驶,而动态探测数据可供实时调整车辆速度、方向,通过动、静态信息融合以实现无人驾驶自动控制。

2.3 全息高精度导航地图的特点

与现有的地图概念和技术相比,本文提出的全息高精度导航地图的数据源更丰富,其特点包括:

(1)道路信息更精细。全息高精度导航地图使用了卫星遥感影像数据、无人机航拍数据、三维激

光雷达点云数据、高清摄像头图像、热红外图像、声光电磁信号等多源数据,不仅拥有更加准确的道路形状和更加精确的道路设施标记要素,如车道线、橡胶减速带、道路隔离带、红绿灯等,还拥有附加声光电磁数据的更加精细的地理场景。因此,可以更真实地反映道路以及周边环境的细节。通过检测无人驾驶车辆与以上道路标记物的距离、方向,并辅以声光电磁环境,则可以推算更精确的车辆定位信息和路线规划方案,使无人驾驶汽车的高精度自主导航成为可能。

(2)数据更新更高效。一方面,全息高精度导航地图采用的多源数据的获取效率很高,更新周期短,比如无人机航拍影像、激光雷达点云、热红外、声波、电磁波等数据的使用,使得无人驾驶汽车在检测周边动态实时数据时效率更高,信息获取内容更丰富,增加了无人驾驶汽车动态数据采集能力。另一方面,全息高精度导航地图采用了高效的信息提取算法,如本文在无人机航拍影像、激光雷达点云等多源数据融合基础上提出了车道线提取和识别方法,使得城市车道线提取更加快捷。这些算法满足了信息提取实时性的要求,为实时性的车辆定位与导航提供了保障。

3 全息高精度导航地图信息采集和提取

融合多源数据的全息高精度导航地图信息采集和提取是整个系统的基础。全息道路数据采集是提取静态信息和动态信息的支撑,但静态数据和动态数据的采集机理、采集过程和处理方式不同。为了更好地描述全息高精度导航地图道路静态信息和动态信息的制作过程,本文分别对2种信息的采集和提取进行叙述。

3.1 全息高精度地图道路静态信息采集和提取

3.1.1 技术流程

静态信息采集和处理流程主要包括3部分(图3),分别为多源信息数据采集、静态数据融合、特定地物识别提取。

3.1.2 数据采集

如图3所示,静态道路数据主要包括高分辨率遥感影像、无人机倾斜数据、激光雷达点云数据、沿路街景图像、沿路电磁数据以及GPS和惯性测量数据,这些多源数据分别通过相应的传感器获取。其

中遥感影像为城市道路最新遥感影像数据。通过对卫星遥感的解译可以提取出城市区域内的道路网主要框架信息。倾斜测量数据主要通过无人机获取,它的主要目的是生成三维点云。图4为无人机航拍采集的道路点云数据示例图。点云数据不受光照强度因素影响,并且可以根据每个点的反射强度对地物进行分类,对基于二维的遥感数据提取的道路网信息和道路线信息是非常合适的补充。道路沿线激光雷达数据主要通过车载激光雷达数据获取。通过分析激光的时间范围、激光的扫描角度、GPS和惯性测量结果将激光扫描点数据处理成高度精确的地理配准 x 、 y 、 z 坐标。道路街景图像主

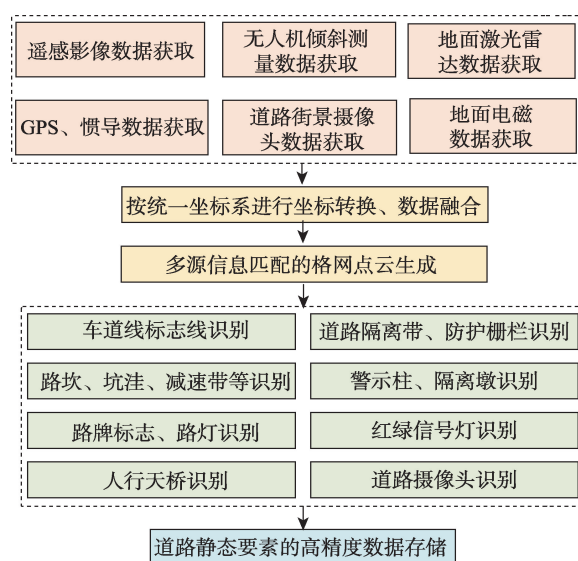


图3 全息高精度地图静态信息采集和提取流程

Fig. 3 Flow chart of static information collection and extraction of pan-information-based high precision navigation map

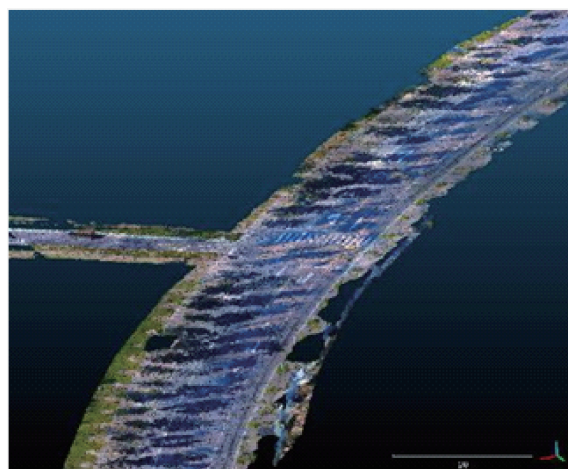


图4 无人机采集的道路点云数据示例

Fig. 4 Example of road point cloud data collected by UAV

要通过高清摄像头数据获取,目的是获取车辆行驶过程记录和目标识别。电磁传感器获取道路沿线电磁数据,用于构建静态电磁环境。

3.1.3 坐标转换与静态数据融合

采集的多源数据需按统一坐标系进行坐标转换和数据融合,如激光雷达数据和摄像头数据融合的一个难点问题就是坐标的转换问题,即将采集的数据从各自的设备坐标系转为统一坐标系。激光

$$R = \begin{bmatrix} \cos(b)\cos(c) & \cos(a)\sin(c) - \cos(c)\sin(a)\sin(b) & \sin(a)\sin(c) + \cos(a)\cos(c)\sin(b) & dx \\ -\cos(b)\sin(c) & \cos(a)\cos(c) + \sin(a)\sin(b)\sin(c) & \sin(a)\cos(c) - \cos(a)\sin(b)\sin(c) & dy \\ -\sin(b) & -\cos(b)\sin(a) & \cos(a)\cos(b) & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

以R-Fans激光雷达为例,式(2)中 x' 、 y' 、 z' 为激光雷达数据的设备坐标,坐标系的原点位于中心轴上,距底座距离39.8 mm, x' 、 y' 为旋转平面, z' 垂直于R-Fan地面,方向向上。 x' 指向设备侧面引出缆线方向。 x' 、 y' 、 z' 构成右手坐标系。角 a 、 b 、 c 分别为激光雷达的 x' 、 y' 、 z' 轴相对于新坐标系 x 、 y 、 z 轴的旋转角度, dx 、 dy 、 dz 分别相对于新坐标系原点的 x 、 y 、 z 轴偏移量。

多源信息匹配的点云,由无人机倾斜摄影生成的三维点云数据和地面激光雷达生成的点云融合得到,并与其他传感器数据融合,增加了点云数据的精度。

3.1.4 特定地物提取

静态数据的特定地物提取是指从多源传感器采集的道路全要素静态观测数据,提取车道线、路坎、路面坑洼、橡胶减速带、道路隔离带、防护栅栏、警示柱、隔离墩、路灯、路牌、人行天桥、道路摄像头、红绿灯等信息,形成该条道路的全息高精度导航地图的基础数据。本文以道路车道线为例,介绍如何利用多源数据进行特定信息提取。本文所用

雷达获取的点云坐标为相对于设备的坐标,如果转换为实际坐标则需通过旋转平移矩阵 R 计算得出。坐标转换计算公式^[27]如式(1)所示。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = R \times \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,

数据为自主采集的无人机影像生成的三维点云。

车道标志线识别是指通过道路点云数据的高度信息、颜色信息,筛选出车道线、转弯线,通过分格处理、连线关系处理,形成连续的车道线图形。车道标志线识别提取的方法如下:

(1)设定目标高度与高度偏差阈值,筛选高度在偏差阈值范围内的点。先设置目标高度 d ,然后设置高度偏差阈值 Δd ,然后遍历点云,判断各点高度 z 值,在 $d \pm \Delta d$ 范围内保留,范围之外排除。

(2)设定目标颜色与颜色偏差程度阈值,筛选颜色在偏差程度阈值范围内的点。以第一步筛选后的点云为基础再进行颜色筛选,先把目标颜色RGB值转为HSV值(色调、饱和度、明度),然后遍历点云,将各点RGB也转为HSV,使用转出的H、S、V值与目标颜色H、S、V值计算欧氏距离,然后除以理论上最大偏差值(此HSV圆锥体颜色偏差值最大为2),计算得出一个比值,即为偏差程度。最后,与设定阈值比较,小于等于阈值则保留,大于则排除。结果如图5所示。

(3)设定提取车道线的连线参数,包括格长和

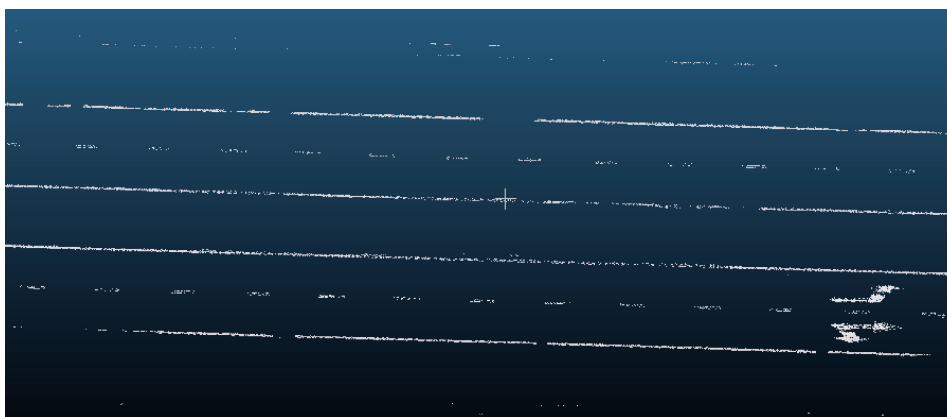


图5 车道线点云数据提取结果

Fig. 5 Lane line point cloud data extraction result

最少点个数,对筛选后的点云进行连线计算处理。具体包括以下3个步骤:

① 点云分格处理。为了减小运算的数据量,同时便于后续邻近关系判断,基于筛选后的点云数据构建空间八叉树^[28],将点云做分格处理。将含有筛选后的点云的空间立方体按3个方向逐级分割成八个子立方体网格,直到划分到立方体格长小于设定最小格子长度阈值时终止,如图6所示。分格之后,各立方体内包含部分点云。遍历各立方体,判断其内部点的个数,大于最少点个数阈值则保留,少于则排除。遍历同时,计算各立方体内的点的 x,y,z 均值,作为此格的坐标点,运算结果如图7所示。

② 格子相邻关系判断。对各立方体进行两两

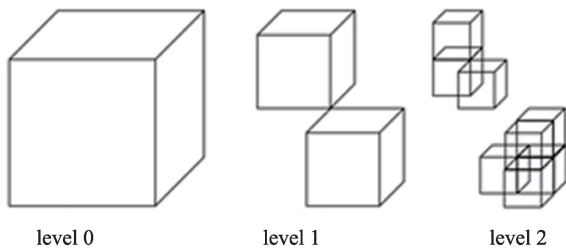


图6 点云立方体网格结构
Fig. 6 Point cloud cube grid structure

对比,对比其 x,y,z 方向的索引值(即立方体在 x,y,z 方向处于第几格位置),如果索引值 x,y,z 方向均相差1或0,并且 x,y,z 索引值不完全相同,则视为相邻,记录为此格的相邻格。

③ 含多个相邻格的格子(多分支格子)与其他格子(少分支格子)区分与处理。首先,判断是否存在含有多个相邻格。如果格子的相邻格多于2个,记为多分支格子,否则记为少分支格子。其次,对多分支格子进行分组。遍历多分支格子,将与其相邻的多分支格子记为与其同一组,并且对此相邻的多分支格子进行相同的迭代处理,直到所有多分支格子都分到某组。然后,计算多分支格子分组后组内最大距离。遍历所有分组,根据每组内的格子坐标点,两两进行距离计算,取距离最大的两格坐标点记为起止点。最后,计算连线的关系。遍历少分支格子和上一步多分支格子各分组结果,两两对起止点,判断各起止点是否相同,相同则记为存在连线关系,直到所有格子与分组结果对比完。

④ 整体计算结果合并与存储,合并结果如图8所示。将第③步连线计算处理中得到的各连线关系按照 x,y,z 顺序保存,以空格分隔 x,y,z 值,不同的线用空行分隔。

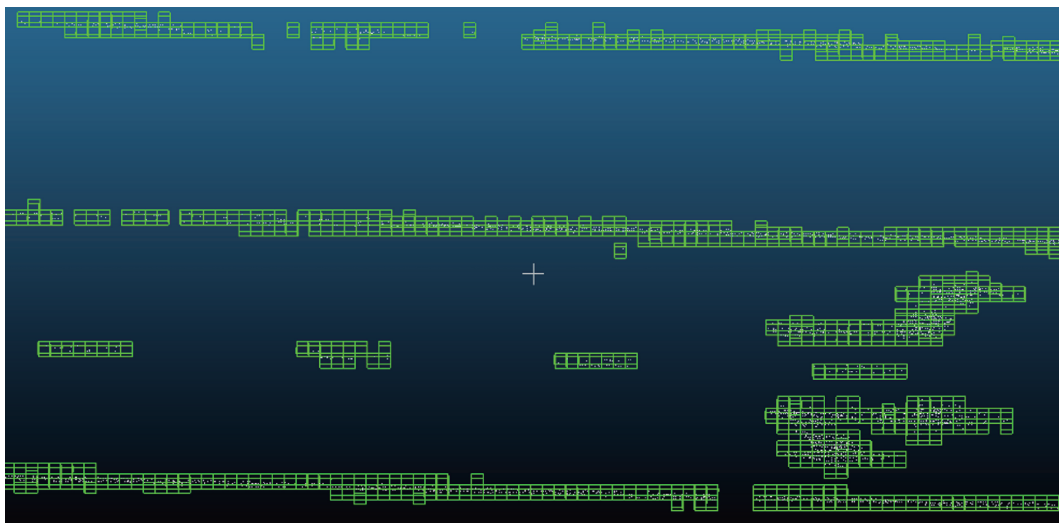


图7 车道线点云网格数据处理结果
Fig. 7 Lane line point cloud grid data processing result

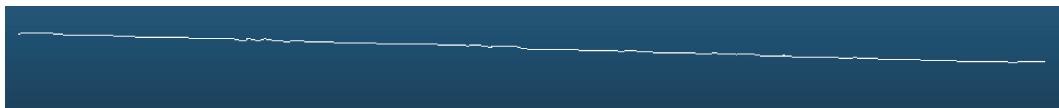


图8 车道线连线提取处理结果
Fig. 8 Lane line connection processing result

3.2 全息高精度地图道路动态信息采集和提取

3.2.1 技术路线

本文全息高精度地图动态信息采集和处理流程(图9)主要包括2部分:多源动态数据采集和特定地物实时识别与提取。此外,由于声光电磁数据是全息高精度导航地图制作的重要数据源,本节特别介绍了道路动态信息采集和提取过程中声光电磁数据的获取和空间化。

3.2.2 数据采集

如图9所示,车辆周边实时动态数据主要通过全息高精度导航地图数据采集车获取实时数据,包括实时激光雷达数据、实时摄像头数据、实时微波雷达数据、实时声音数据、实时GPS和惯性导航数据、实时热红外仪数据、实时电磁传感器数据,并通过泛在信息网获取实时泛在数据。

3.2.3 特定地物实时提取

动态数据的特定地物提取是根据上述动态数据监测车辆周围障碍物的距离和形状,实现车辆实时定位。通过获得的全息高精度导航地图车道线等静态信息和实时位置信息,以及所检测出的车辆、红绿灯状态、障碍物、行人等动态信息和泛在信息,重新计算当前车辆可行驶的路线和速度。以下以摄像头图像识别道路行人为例,介绍道路行人这一特定信息的提取过程。

道路行人识别是通过获得的实时热红外数据、摄像头数据和激光雷达数据检测道路前后方有无行人,以及计算与车辆的距离。本文采用基

于机器学习的HOG+SVM物体识别算法^[29-30],通过实时高清摄像头图像获取道路上行人信息。具体过程包括:

(1)准备训练样本集合,包括正样本集和负样本集。其中,正样本为含有完整人体图像的图片。负样本为不含完整人体图像的其他景物图片。训练样本可以从不同场景的街头监控录像或者行车记录仪影像中截取获得。在影像中截取含有完整人体图像的图片作为正样本,并裁剪为规定大小的图片,存储到一个文件夹中,作为正样本集合。然后截取不包含完整人体图像的其他景物图片作为负样本,同样裁剪为与正样本同样大小的图片存储到一个文件夹中,作为负样本集合。

(2)提取所有正样本和负样本的HOG特征构成特征向量。包括HOG特征提取、梯度计算、HOG特征向量构建、特征向量合成等步骤。HOG特征即方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradient, HOG)特征,是在计算机视觉和图像处理中用来进行物体检测的特征描述子。由于图像的边缘和角点(灰度值变化剧烈的区域)的梯度变化往往很大,同时这些区域所包含的目标形状的信息比平滑的区域多很多,因此梯度或边缘的方向密度分布能够很好地描述局部目标的形状。通过统计图像局部区域的梯度和梯度方向的分布可以构建特征向量。在梯度计算中,主要利用Sobel算子对图像进行卷积操作,将图片分割成小块(以10像素×10像素为例,称为cell),计算每个cell的梯度值和梯度方向,并绘制9个bin(特征维度),即横轴为0,20,⋯,160的梯度方向,纵轴为梯度值的梯度直方图。最后,由方向梯度直方图提取到的特征向量,将正样本的特征和负样本的特征收集到一起,对所有正负样本赋予样本标签,例如,所有正样本标记为1,所有负样本标记为0,并将它们结合成最终的特征向量供分类使用。

(3)将HOG特征输入SVM中进行训练。在机器学习中,SVM(支持向量机)是一种监督学习模型,可用于模式识别、分类等问题。将正负样本的HOG特征和标签都输入到SVM中进行训练。另外,考虑到速度问题,采用线性SVM进行训练,并将结果保存为文件。识别结果如图10所示。

3.2.4 声光电磁数据获取和空间化

在全息高精度导航地图采集车获取的动态数据中,有一部分数据是声、光、电磁数据,这是全息

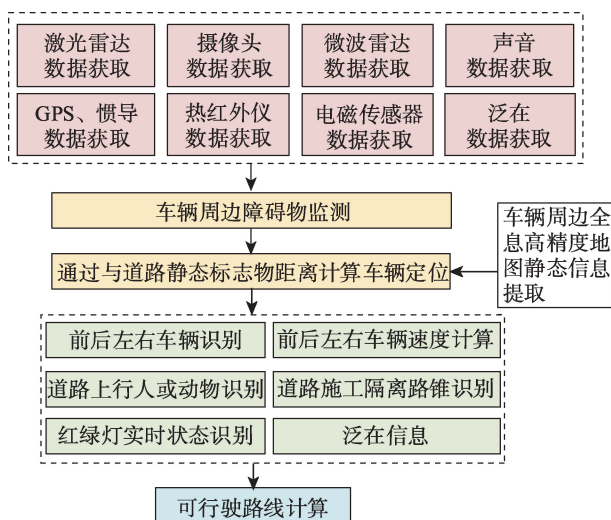


图9 全息高精度地图动态信息采集和提取流程

Fig. 9 Flow chart of dynamic information collection and extraction of pan-information-based high precision navigation map



图10 道路行人目标识别结果

Fig. 10 Pedestrian target recognition results

高精度导航地图与普通高精度导航地图之间数据集成与表达方式差异性最直观的体现。声、光、电磁环境是人居环境的重要组成部分,也是全息高精度导航地图地理场景构建的重要内容。通过对声、光、电磁数据的获取和建模,从而实现无人驾驶车辆在更丰富场景下的定位与导航。

声音数据是全息高精度导航地图中特有的数据源之一,它能有效弥补光线灰暗和物体遮挡的对光学传感器采集的影响^[31]。声音数据空间化的实现,主要是通过声音采集器沿路采集获取不同地点的声音强度信息,再通过插值生成整个区域的声音强度地图。首先需要结合音频和视频进行声音场景学习和分类,然后根据式(3)所示点声源衰减公式^[32]确定声音源的位置。进而可以分析声音源与

无人车的方位和距离。图11所示为基于声音数据的实时交通场景重建,通过对声音的精细化分类(机动车、电动车、鸟鸣、人群交谈等)、声强和频率的分级显示实现声环境的可视化表达。

$$L_p = L_w - 10 \lg(4\pi d^2) \quad (3)$$

式中: L_p 为观测点声压级; L_w 为每米声功率; d 为观测点距离。

光数据模型是通过将日间太阳光(自然光照)和夜间灯光(人工光照)的光照强度空间化来实时构建道路及周边场景。光数据模型的建立使得全息高精度导航地图赋予无人车感知四季变迁和一天中时间变化的能力,为更多智能服务提供可能。

电磁数据种类较多,包括WiFi、蓝牙、工频信号

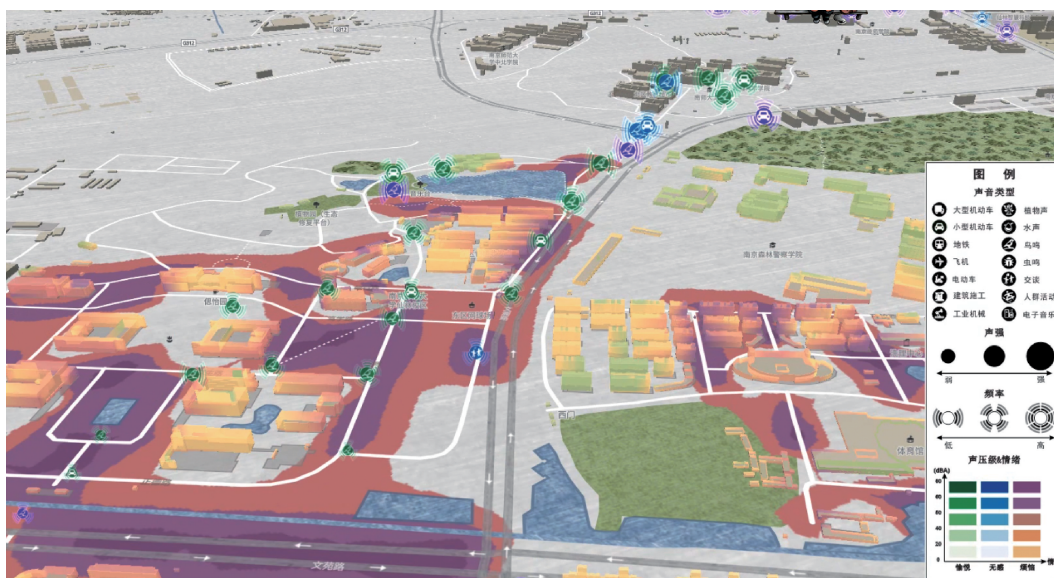


图11 基于声音数据的实时交通场景重建

Fig. 11 Real-time traffic scene reconstruction based on sound data

等,是全息高精度导航地图中实现无人车辅助定位的重要数据源。数据采集车自适应获取不同波段的电磁场强度,经实时插值计算构建从低频到超高频的电磁环境,实现电磁数据的空间化(图12)。

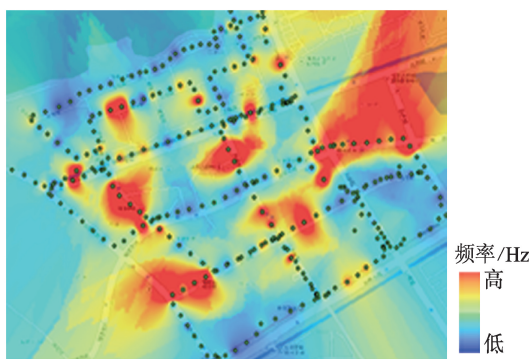


图12 电磁数据空间化结果示意

Fig. 12 Schematic diagram of electromagnetic data spatialization results

4 全息高精度导航地图动、静态信息融合应用

作为实现无人驾驶全要素、全信息、全内容的环境基础,全息高精度导航地图的主要功能是融合从多源传感器采集和提取的静态信息和动态信息,充分发挥道路信息精细化和数据更新高效化的应用优势,为无人驾驶车辆更智能的高精度定位、路径规划和行驶控制提供服务。

(1) 车辆高精度定位

高精度定位是道路级、车道级路径规划和无人驾驶控制的基础。通过多源传感器获取的静态信息制作的全息高精度导航地图的静态图层本身绝对精度非常高,可以精准地刻画静态驾驶环境^[33]。但是就无人驾驶车辆自身来说,由于存在各种定位误差,单纯依靠车载GPS、惯性测量等并不能保证车辆与周围地物正确的位置关系。而全息高精度导航地图含有厘米级精度道路信息的三维表征,比如路面的几何特征(坡度、曲率、航向、高程等),路面情况(路坎、路面坑洼、减速带、隔离墩、路牌等),车道标示线的位置,周边道路环境的点云模型等,因此可以利用上述多维、多视角的道路数据,结合车辆实时获取的动态信息,通过高效的地图匹配算法和计算与车辆周边目标物的距离,将车辆准确定位在当前的驾驶环境中,并实现实时定位更新。另外,全息高精度导航地图含有大量的行车辅助信息,比如电磁信号数

据等,实现无人驾驶车辆的辅助定位。

(2) 自主路径规划

除定位之外,路径规划也是实现无人驾驶车自主定位导航的最基本的环节之一。全息高精度导航地图具有全信息、全要素、全内容的特点,包含丰富的语义信息,比如交通信号等的位置和信息,车道级拓扑关系,车道通行方向,车道及要素间挂接与关联关系等,无人车辆可以通过识别和抽取这些语义信息,判断哪些路面可以行使,进而为无人车给出最优路径。实际应用中,首先需要通过对全息高精度导航地图中的静态信息提供先验知识,提前对驾驶路径进行全局规划。由于行驶过程中实际路况复杂多变,因此特别需要融合经热红外数据、摄像头数据和激光雷达数据等动态数据,更新车辆、行人、动物、交通信号灯等动态信息进行局部路径规划。同时,泛在信息可以提供空间全方位和时间全方位的信息表达形式,为局部路径规划提供精准的实时信息,修正路径规划方案。例如,通过一些泛在信息网发布的道路封闭情况、道路拥堵情况、临时交通管制情况和天气情况等精细化更新路径规划。

(3) 自动行驶控制

对于实现定位和路径规划功能的无人驾驶车,还需通过全息高精度地图进行行驶控制才能真正实现自动驾驶,无人驾驶车的行驶控制包括方向、速度和预测等,是全息高精度导航地图赋予的一种车道级的引导能力。自动驾驶实现智能控制时,首先通过精确的静态数据提供丰富的道路语义信息约束和控制车辆行驶,例如,根据车道的限速要求和驾驶经验数据集(如潜在危险区等)推荐给无人车特定约束条件下的最优速度选择。然后利用激光雷达、红外传感器、摄像头等动态数据实时探测和识别车辆周围其他车辆、行人和未知障碍物,以此计算无人驾驶车实时的方向、速度并预测下一时刻自车和其他行人、车辆的位置,及时调整车的速度和方向。

5 结语

在高精度导航地图和全息地图概念的基础上,本文提出了全息高精度导航地图的概念,同时提出了一种融合多源数据的全息高精度导航地图理论模型架构。一方面,本方法能够提取高质量的车道

及相关信息,并且借助高时间分辨率的遥感影像和无人机倾斜数据,提高精度车道线提取精度和更新效率;另一方面,本方法融合了热红外、声波、电磁波等多源传感器数据和泛在信息网数据,构建了全要素的全息高精度导航地图,能够使自动驾驶汽车更准确地完成对周边实物的实时监测,增加了自动驾驶汽车操控能力。

由于大量数据的自动化采集以及采集数据的精度越来越高,使得全息高精度导航地图可以在大数据层面和更微观的层面有更多的表达、探测和分析手段。它不仅能够在宏观数据层面发挥传统地图的作用,在更精细的数据层面,也可以结合深度学习的方法和人类的需求,扩展到更多的应用领域。

参考文献(References):

- [1] 廖克. 陈述彭院士的光辉业绩与学术思想永存——纪念陈述彭院士逝世一周年[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6):691-694. [Liao K. Academician Chen Shupeng's brilliant achievements and academic thoughts will last forever—Commemoration of the first anniversary of academician Chen Shupeng's death[J]. Journal of Geo-information Science, 2009, 11(6):691-694.]
- [2] 陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地理信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究, 2000, 19(4):337-343. [Chen S P, Yue T X, Li H G. Studies on geo-informatic map and its application[J]. Geographical Research, 2000, 19(4):337-343.]
- [3] 陈述彭. 历史轨迹与知识创新[J]. 地理学报, 2001, 56(7s):1-7. [Chen S P. Along the historical way up to knowledge innovation[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(7s):1-7.]
- [4] 张攀, 朱敦尧. 车载导航地图服务发展探讨[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(5):127-130. [Zhang P, Zhu D Y. Development of car navigation map service[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2013, 31(5):127-130.]
- [5] 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. [Liu J N, Wu H B, Guo C, et al. Progress and consideration of high precision road navigation map[J]. Engineering Science, 2018, 20(2):99-105.]
- [6] Tao Z, Bonnifait P, Fremont V, et al. Mapping and localization using GPS, lane markings and proprioceptive sensors[C]. Tokyo: Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on IEEE, 2013: 406-412.
- [7] 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.
- [8] Seif H G. Autonomous driving in the iCity-HD maps as a key challenge of the automotive Industry[J]. Engineering, 2016, 2(2):159-162.
- [9] 曾妮红, 岳迎春, 黄迟. 融合机载雷达和航空正射影像的道路提取[J]. 测绘科学, 2016, 41(5):96-100. [Zeng N H, Yue Y C, Huang C. Fusion of airborne LiDAR and aerial DOM for road extraction[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(5):96-100.]
- [10] 李鑫慧, 郭蓬, 戎辉, 等. 高精度地图技术研究现状及其应用[J]. 汽车电器, 2019(6):1-3. [Li X H, Guo P, Rong H, et al. Research status and application of high precision map technology[J]. Auto Electric Parts, 2019(6):1-3.]
- [11] Schreiber M, Knoppel C, Franke U. Lane marking based localization using highly accurate maps[J]. IEEE Xplore, 2013, 36(1):449-454.
- [12] 陈贵宾. 基于三维激光雷达的自动驾驶车辆高精度地图构建[D]. 长春: 吉林大学, 2019. [Chen G B. High definition map construction for autonomous vehicle based on 3D LiDAR[D]. Changchun: Jilin University, 2019.]
- [13] 申泽邦. 面向自动驾驶的高精度地图优化和定位技术研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019. [Shen Z B. Research on high precision map optimization and localization for autonomous driving[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.]
- [14] Wang H, Wang C, Luo H, et al. Object Detection in terrestrial laser scanning point clouds based on hough forest[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(10):1807-1811.
- [15] 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.
- [16] Zheng L, Li B, Yang B, et al. Lane-level road network generation techniques for lane-level maps of autonomous vehicles: a survey[J]. Sustainability, 2019, 11(16):4511.
- [17] 王东波. 高精度导航地图数据道路曲率估计方法研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2018. [Wang D B. Road curvature estimation method for high precision navigation map data[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2018.]
- [18] 周勇, 刘尚魁. 构建基于Appollo的高精度地图解决方案[J]. 电子技术与软件工程, 2018(21):139. [Zhou Y, Liu S K. Building a high precision map solution based on Appollo[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(21):139.]
- [19] 周成虎, 朱欣焰, 王蒙, 等. 全息位置地图研究[J]. 地理科学进展, 2011, 30(11):1331-1335. [Zhou C H, Zhu X Y, Wang M, et al. Panoramic location-based map[J]. Progress in Geography, 2011, 30(11):1331-1335.]

- [20] 齐清文,姜莉莉,张岸,等.全息地图构建与多重表达[J].测绘科学,2018,43(7):7-14. [Qi Q W, Jiang L L, Zhang an, et al. Modeling and multiple representation of holographic map[J]. Science of Surveying and Mapping, 2018,43(7):7-14.]
- [21] 朱欣焰,杨龙龙,芮维,等.面向全息位置地图的室内空间本体建模[J].地理信息世界,2015,22(2):1-7. [Zhu X Y, Yang L L, Guo W, et al. Ontology modeling of indoor space for the location-based pan-information map[J]. Geomatics World, 2015,22(2):1-7.]
- [22] Zhu X Y, Guo W, Huang L, et al. Pan-information location map[C]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, At Cape Town, South Africa, 2013.
- [23] 朱欣焰,周成虎,芮维,等.全息位置地图概念内涵及其关键技术初探[J].武汉大学学报·信息科学版,2015,40(3):285-95. [Zhu X Y, Zhou C H, Guo W, et al. Preliminary study on conception and key technologies of the location-based pan-information map[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015,40(3):285-95.]
- [24] 闫国年,袁林旺,俞肇元.地理学视角下测绘地理信息再透视[J].测绘学报,2017,46(10):1549-1556. [Lv G N, Yuan L W, Yu Z Y. Surveying and mapping geographical information from the perspective of geography[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017,46(10):1549-1556.]
- [25] 闫国年,俞肇元,袁林旺,等.地图学的未来是场景学吗?[J].地球信息科学学报,2018,20(1):1-6. [Lv G N, Yu Z Y, Yuan L W, et al. Is the feature of cartography the scenario science?[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(1):1-6.]
- [26] 周成虎.全空间地理信息系统展望[J].地理科学进展,2015,34(2):129-131. [Zhou C H. Prospects on pan-spatial information system[J]. Progress in Geography, 2015, 34(2):129-131.]
- [27] 叶刚.城市环境基于三维激光雷达的自动驾驶车辆多目标检测及跟踪算法研究[D].北京:北京理工大学,2016. [Ye G. Multi-target detection and tracking algorithm for autonomous driving car based on 3D LiDAR in urban traffic environment[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016.]
- [28] 朱清海.一种基于八叉树车载激光点云的杆式地物批量提取方法[J].测绘通报,2019(S2):110-111,116. [Zhu Q H. A batch extraction method of rod type objects based on octree vehicle-borne laser point cloud[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2019(S2):110-111,116.]
- [29] Penghua Ge, Yanping Hu. Vehicle Type Classification based on Improved HOG_SVM[P]. Proceedings of the 3rd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT 2019),2019.
- [30] 龚露鸣,徐美华,刘冬军,等.基于混合高斯和HOG+SVM的行人检测模型[J].上海大学学报(自然科学版),2018,24(3):341-351. [Gong L M, Xu M H, Liu D J, et al. Novel model of pedestrian detection based on Gaussian mixture model and HOG+SVM[J]. Journal of Shanghai University(Natural Science Edition), 2018,24(3):341-351.]
- [31] 李权.面向安全监控的异常声音识别的研究[D].长沙:湖南师范大学,2015. [Li Q. The study of abnormal sound recognition for security monitoring[D]. Hunan Normal University, 2015.]
- [32] 康健.城市声环境论[M].北京:科学出版社,2011. [Kang J. Urban Sound Environment[M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [33] 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. [Liu J N, Zhan J, Guo C, et al. Data logic structure and key technologies on intelligent high-precision map[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2019,48(8):939-953.]