



引文格式: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),2024,49(4):527-536.  
DOI:10.13203/j.whugis20230135  
Citation: YIN Zhangcai, QI Ruyü, YING Shen. Information Transmission Model of High Definition Map for Autonomous Driving [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2024, 49(4): 527-536. DOI: 10.13203/j.whugis20230135

# 自动驾驶高精地图的信息传输模型

尹章才<sup>1</sup> 齐如煜<sup>1</sup> 应申<sup>2</sup>

1 武汉理工大学资源与环境工程学院,湖北 武汉,430070

2 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

**摘要:**高精地图的“非视觉”和面向机器特性,使其与传统面向人的时空产品有明显不同,相应的描述地图主、客体及其与产品之间关系的传输模型也面临巨大变革。已有的传输模型重构了上述关系,包括新增用户个性信息及其传输,但也存在信息传递工具仍采用面向人而非机器的地图语言等不足。为此,结合自动驾驶中地图信息的传输特点,构建面向机器认知的高精地图信息传输模型,通过对已有的传输模型进行扩展:GIS语言代替地图语言,将用户个性信息整合到高精地图的用户图层中,将行动指导扩展为行动实践。研究表明,构建的全机器认知的高精地图信息传输模型实现了地图信息认知的主体由人到机器的扩展,适应了高精地图在感知、定位、规划、控制等传输过程中全人工智能的特性。所提出的模型一方面有助于准确把握高精地图的本质及内容结构,提升认知效果;另一方面,对驾驶服务具有重要的指导作用,包括内容选取、表达方法、系统功能框架设计等,提高传输效率。

**关键词:**高精地图;地图信息传输模型;自动驾驶;地图空间认知

中图分类号:P208

文献标识码:A

收稿日期:2023-04-14

DOI:10.13203/j.whugis20230135

文章编号:1671-8860(2024)04-0527-10

## Information Transmission Model of High Definition Map for Autonomous Driving

YIN Zhangcai<sup>1</sup> QI Ruyü<sup>1</sup> YING Shen<sup>2</sup>

1 School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

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

**Abstract: Objectives:** The “non-visual” and machine-oriented characteristics of high definition map distinguish them from traditional human-oriented spatiotemporal products. Correspondingly, the transmission model describing the relationships between map subjects, objects, and their products also faces significant changes. Existing high definition map information transmission models have reconstructed these relationships, including the addition of user-specific information and its transmission. However, there are still shortcomings in the use of human-oriented map language instead of machine-oriented language as the information transmission tool. To address this, we combine the transmission characteristics of map information in autonomous driving and construct a machine-oriented cognitive high definition map information transmission model. **Methods:** We propose three extensions to the existing map information transmission model: Substituting GIS language for map language, integrating user-specific information into the user layer of high definition map, and expanding action guidance to action practice. **Results:** The research results show that the constructed machine-oriented cognitive high definition map information transmission model has extended the subject of map information cognition from humans to machines, adapting to the full artificial intelligence characteristics of high definition map in the transmission process of perception, localization, planning, and control. **Conclusions:** The proposed model contributes to accurately grasping the essence and

基金项目:国家重点研发计划(2021YFB2501100, 2021YFB2501101)。

第一作者:尹章才,博士,教授,主要研究领域为高精地图与自动驾驶、时间地理学。yinzhangcai@whut.edu.cn

通讯作者:齐如煜,硕士生。qiruyv@163.com

content structure of high definition map, enhancing cognitive performance. Additionally, it plays an important guiding role in driving services, including content selection, expression methods, system functional framework design, and improving transmission efficiency.

**Key words:** high definition map; map information transmission model; autonomous driving; map spatial cognition

地图信息传输模型研究对地图的设计与应用具有重要的指导意义。柯拉斯尼模型作为经典的地图信息传输模型,为信源信宿间误差或信道噪音的理解和消除提供了全局视角。然而,现有的地图学理论和方法产生与发展的社会背景、支撑技术、生产及使用方式等均发生了根本性变革,地图产品的需求侧、供给侧及供需关系和模式随之发生相应变化<sup>[1]</sup>。高精地图即高清地图是这一变革的典型代表,具有近乎1:1的时空分辨率<sup>[2]</sup>,其认知主体、产品形态更加复杂多元<sup>[3]</sup>。业界期待贯穿高精地图从生产到使用各环节的地图信息传输模型。

文献[4]从地图学理论视角提出了高精地图信息传输模型。它继承了柯拉斯尼模型的基本框架和作为地图信息传递工具的地图语言,描述了自动驾驶应用场景下制图者认知的交通环境如何通过地图语言及其图形认知传递给用图者。基于地图符号的地图语言适合于人类视觉认知需求,包括人机共驾。然而,基于地图符号读写的地图信息传递模式不适用于无人自动驾驶。

目前,高精地图信息传输模型的信息传递工具仍停留在地图语言上。本文提出的面向无人自动驾驶的高精地图信息传输模型进行了两个扩展。首先,将作为信息传递工具的地理学语言由第二代的可视化地图扩展到第三代的GIS。GIS脱胎于地图,拥有挖掘和抽取间接信息的强大分析功能,这也是自动化智能驾驶的客观需求。地理学语言的升级换代意味着高精地图信息传输模型不同于传统的模型。然后,将面向用户被动的图形认知扩展成面向机器主动的智能服务。至此,高精地图信息传输模型摆脱传统图形语言及其图形认知的依赖,顺应高精地图的需求侧与供给侧之间关系的变革,为高精地图信息在感知、定位、规控等环节的传递和模式提供系统视角。这样,人们将拥有完整的高精地图信息传输模型。

## 1 研究基础

地图信息传输是地图学要解决的主要矛盾和根本问题,贯穿于地图生产和使用的全过程<sup>[5]</sup>。

其基础是地图信息传输模型,用以表现信息传输过程的主体构成、传输指向及信息流<sup>[4]</sup>。

### 1.1 经典地图信息传输模型

信息理论出现后,地图学研究步入“人-地图-实在”的框架中,并引出了地图信息传输模型<sup>[6]</sup>。经典的柯拉斯尼模型<sup>[7]</sup>采用点对点通信系统(发送端→信道→接收端)阐释地图的用途:地图就是一种在地图作者和地图读者之间传输信息的通信<sup>[8]</sup>,并把地图的制作和使用看作是一个统一过程的两个阶段<sup>[9]</sup>,为各部分之间的控制和反馈提供系统框架(见图1)。

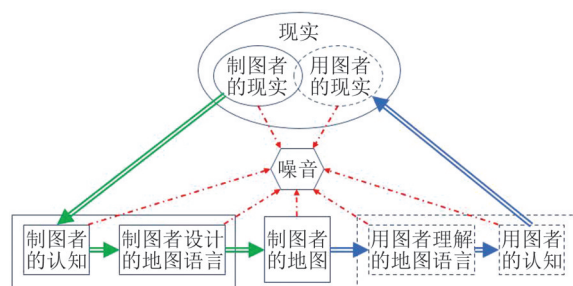


图1 柯拉斯尼模型的一种扩展

Fig. 1 An Extension of the Koláčny Model

在制图阶段,地图是对地理世界的构建而非复制<sup>[10]</sup>。地理世界通过制图者的认知和制图综合转换为地图。制图者的认知是真实世界的一部分,相应地,地图所表达的现实世界也是真实世界的一部分。在用图阶段,用图者通过对地图的认知获得现实世界。用图者的认知不是制图者认知的复制,与制图者的地理环境认知有交集但不相等<sup>[11]</sup>。

传统地图学已经被数字化地图学所取代,正向以地理空间信息综合服务为核心的信息化地图学转变<sup>[12]</sup>。新兴地图呈现出诸多新特征:自适应性、交互性、可移动性、众包和时效性<sup>[13]</sup>,也推动地图信息传输理论的多样化,如网络地图<sup>[14]</sup>、众包地图<sup>[8]</sup>、移动地图<sup>[13,15]</sup>、空间信息移动服务<sup>[16]</sup>、个性化地图<sup>[11]</sup>、高精地图<sup>[4]</sup>等地图信息传输模型。这些模型的变化不仅发生在模式上,由静态单向模式向动态(双向)交互式转变<sup>[5]</sup>,还在信源、编码、信道和信宿等环节上<sup>[14]</sup>。

### 1.2 高精地图

高精地图在自动驾驶技术中发挥着重要的作用,约产生于2014年,它通过对环境的数字化表达为自动驾驶提供了必要的可靠性<sup>[17]</sup>。作为一种面向车辆高级辅助驾驶、车辆自动驾驶及智慧交通的地图产品<sup>[18]</sup>,高精地图通过与传感器的信息交互以弥补传感器盲区、终端性能限制以及先验信息缺失等不足,如同一个为车辆提供全方位非视觉环境感知的“传感器”<sup>[19-20]</sup>,为保证驾驶安全所需的感知与定位、规划、控制提供支撑<sup>[21]</sup>,如车辆根据地图提供的交通情况和路线信息进行必要的机动和改变速度<sup>[17]</sup>。高精地图的应用涉及自动驾驶、智能交管(如交通精细执法、执法取证、事故应急处理、车险理赔)、智慧出行、智慧城市等领域<sup>[22]</sup>。

高精地图是普通导航地图的颠覆性升级<sup>[2]</sup>,与传统面向人的时空产品有着明显的不同,使传统的地图空间认知理论面临着空间认知主体、客体、产品的巨大变革<sup>[23]</sup>。在主体上,地图服务的对象由人类扩展到机器<sup>[24-25]</sup>,服务人类的方式由直接方式扩展到基于嵌入机器的间接方式。机器代替人类不仅成为地图的使用者,而且也成为

地图的制作者、导航员、决策者和控制逻辑。在内容上,地图由历史静态向实时动态、由抽象简略的符号表达达到精细丰富的实景重现转变。更高的精度包括:空间上拥有厘米级的地理位置;时间上刻画秒级的路况变化信息,确保地图数据的鲜度<sup>[26]</sup>;语义上包含丰富细致的属性信息,如描述车道形状、车道线类型的几何属性和交通标志等;在数据量相对于传统导航电子地图增加了 $10^5$ 倍<sup>[25]</sup>。在产品上,地图服务于导航扩展到包含导航决策本身<sup>[2]</sup>,由资源扩展到知识。上述变化对地图精度、内容结构和计算模式等都提出了新的要求<sup>[25]</sup>,也意味着描述地图主、客体及其与产品之间关系的传输模型发生变化。

### 1.3 高精地图的信息传输模型

现有地图学理论对当代地图学实践的指导意义有限<sup>[1]</sup>。柯拉斯尼模型无法满足高精地图的实时和机器认知的需求,其本身仍存在着一定的局限性<sup>[4]</sup>。如静态的传统空间认知难以适应实时动态的交通场景;用户是被动的信息接受者,用户的个性信息仅作为用图认知的影响因子<sup>[11]</sup>,而与地图内容无关,难以自适应用户需求。高精地图的信息传输模型<sup>[4]</sup>如图2所示。

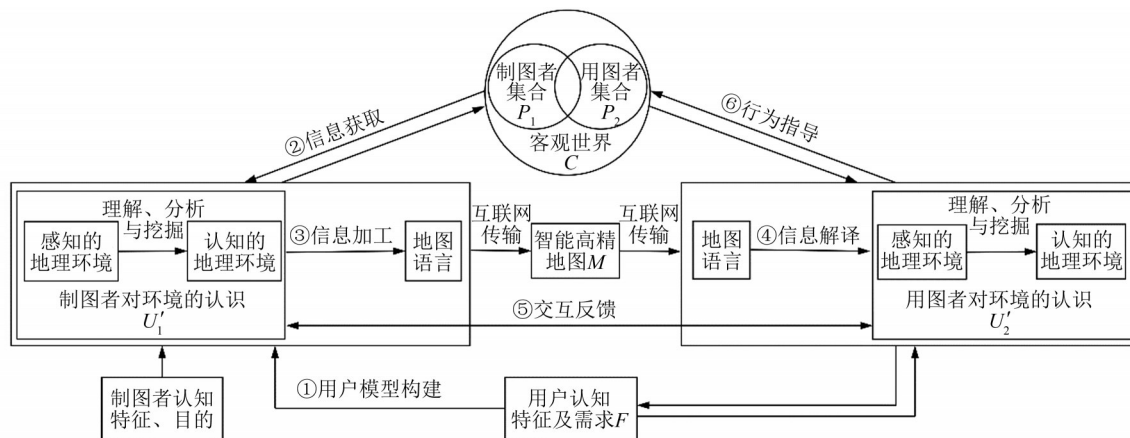


图2 智能高精地图信息传输模型<sup>[4]</sup>

Fig. 2 Information Transmission Model of Intelligent High Definition Map<sup>[4]</sup>

信息传输主要包括6个阶段:用户模型构建、信息获取、信息加工、信息解译、交互反馈和行为指导。相较于传统传输模型的典型特征是在图示上新增了用户模型,形成驾驶指纹<sup>[27]</sup>。一方面,它在用户与制图者之间架起了相互沟通和转化的桥梁<sup>[14]</sup>。用户能参与制图和问题提交,用户认知由被动向主动转变;制图者与用图者互相扩大对现实环境的认知<sup>[28]</sup>。另一方面,用户模型将用户的个性信息从用户认知系统中独立出来,如知识能力、专业背景等认知特征。这有助于在制

图阶段提前考虑用户个性特征和贯穿以用户为中心的原则,且抑制制图者的主观性。上述两个方面能降低用户认知负荷和改善地图信息传输效率。

然而,上述模型继承了基于地图语言的信息传递工具,这在面向机器人时不是必需的;用户的个性信息未统一到地图内容中。此外,传输模型并未包含如下信息:地图辅助感知系统开展信息获取与数据置信度验证,驾驶行为实践,被用图平台代替后的用户。因此,高精地图信息传输

模型仍有研究的必要。

## 2 高精地图信息传输建模

高精地图在生产和应用上的主体由人转换为机器人,由自然智能代替为人工智能,是区别于其他地图的重要特征。

### 2.1 高精地图信息传输框架

尽管互联网的加入使得地图在信源、编码、信道、信宿及其相互关系方面发生了巨大的变化,但互联网地图并未超出信息论的框架,相应的信息传输符合传统的地图信息传输模型<sup>[14]</sup>,如具有“人-地图-实在”框架<sup>[6]</sup>和分别对应于制图和用图的两个认知系统(见图3)。其中,感知和行为分别是认知的源头和外化,发生在物理空间并与交通环境交互;认知是感知的再抽象和秩序化,发生在认知空间,包括分别对应于制图和用图的记忆认知和计算认知<sup>[29]</sup>。制图所表达的现实世界和用图最终产生的结果都是地理世界的子集,两者不相等且重合部分较少。

在概念上,高精地图信息传输模型的框架扩展为“认知系统-高精地图-交通环境”(见图4)。

“认知系统”代替人,一方面一致认为人在传统地图信息传输系统中的本质功能是认知,另一方面顺应高精地图的认知由机器人代替人。面向自动驾驶的地图认知亦具有自动驾驶的特点,李德毅等<sup>[27]</sup>称之为驾驶认知,它是自动驾驶系统的人工智能代替人类驾驶员的感知、认知和行为的自然智能的关键。驾驶认知系统的交互、记忆和计算智能来源于人类标杆驾驶员的驾驶技能和驾驶经验,包括驾驶员与周边场景、车辆的交互认知以及驾驶员的经验记忆和临场处置的记忆认知和计算认知,为自动驾驶系统的记忆、决策、行为和学习等能力的达成提供基础。

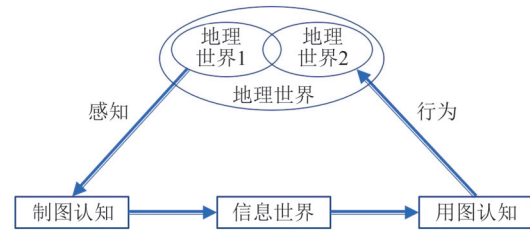


图3 地理信息传输的基本模式

Fig. 3 Basic Mode of Geographic Information Transmission

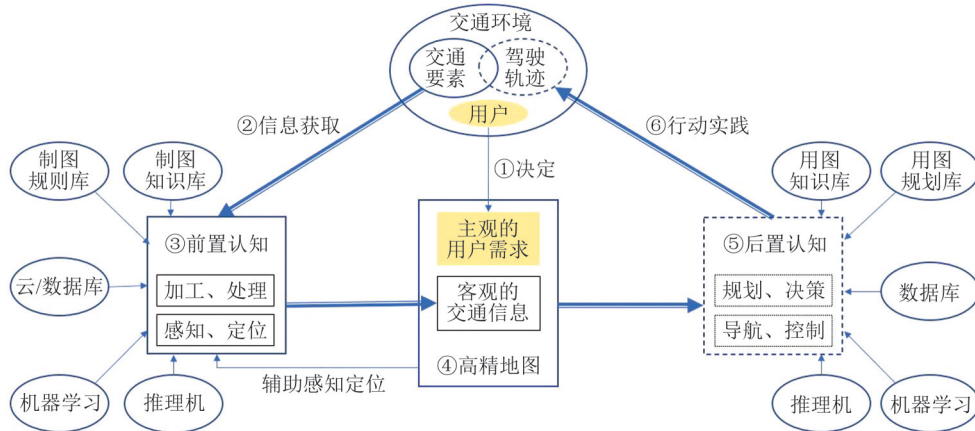


图4 高精地图信息传输模型

Fig. 4 Information Transmission Model of High Definition Map

结构上,高精地图信息传输模型可以分为地图的生产和服务两个模块,对应于交通场景-前置认知系统-高精地图、高精地图-后置认知系统-交通场景,展现了两个功能:地图作为交通资源全时空实时感知的载体和作为交通工具全过程运行管控的依据<sup>[30]</sup>。其中,前置认知负责将现实世界中的交通场景映射到高精地图中,实现数字孪生;后置认知实现地图的个性化、知识化、智慧和驾驶的智能化。

总体上,高精地图信息传输系统将复杂的交

通环境和社会规则转换为车辆能理解的方式进行传递<sup>[22]</sup>。其中,数据采集、前置认知、地图、后置认知、行动实践等环节的功能,分别是将复杂的交通环境进行解构、语义化、重构、行动指导、协同控制。

### 2.2 高精地图信息传输结构

高精地图的信息传输过程可划分为现实世界与高精地图以及两者之间的双向映射,与传统的地图信息传输模型存在一定的相似性。

### 2.2.1 相互映射的地理与信息世界

地图信息传输结构包含两个关键节点:现实世界和信息世界。现实世界包括交通要素、驾驶轨迹和用户。用户作为现实世界的组成被独立出来,不再是用图过程的主体而是其服务对象。驾驶轨迹与交通要素共同构成了现实世界的客观部分,分别是传输系统的出发点和归属。两者的重叠表示驾驶轨迹会成为作为信息源的交通要素的一部分。驾驶轨迹不是交通要素的复现/重现而是深化,是高精地图自评估的重要内容。用户从一开始就是地图信息传输模型的组成单元,其角色随地图发展而变迁,由传统地图的被动接受者→互联网地图的主动接受者、制图参与者→高精地图的内容、中心与服务对象。相应地,用户在地图信息传输模型中的位置也在变化,在视觉地图中位于用户认知和现实世界中,而在高精地图中则位于地图和现实世界中。

信息世界是通过图形、文字、语言等信息传递手段所表达的现实世界,常见的语言有自然语言、GIS语言、地理语义、图形符号<sup>[1]</sup>。高精地图采用GIS语言表达和分层策略,如“四层一体化”模型<sup>[4]</sup>、“七层模型”<sup>[31]</sup>和局部动态地图模型(local dynamic map, LDM)<sup>[32]</sup>。分层结构使地图更灵活,通过各层数据的过滤与聚合能有效应对不同的应用需求(如自动驾驶系统)与功能需求(如路径计算)<sup>[33]</sup>。用户模型作为地图内容的一层,便于地图自适应满足用户的个性化需求。

尽管“非视觉”的高精地图是否归于地图尚不统一<sup>[6]</sup>,但仍具有地图的一般特征:数学基础、制图综合、地图符号系统、地理信息载体。首先,高精地图派生于地图,继承了地图的数学基础和地理信息载体的特性。其次,高精地图具有制图综合的基本特征。最后,占位高精地图(表示自动驾驶行驶区域中被占用的位置)使用了栅格理念。高精地图弱化甚至忽略了可视化功能但仍保留了地图的思维工具。值得一提的是,高精地图需要遵循法律法规。在中国,高精地图必须进行加密处理,不允许表达道路的最大纵坡、最小曲率半径和高程等<sup>[30]</sup>。

地理世界与信息世界之间不是孤立的。信息世界来源于地理世界并最终作用于地理世界,地理世界是信息世界的出发点和最终归宿。信息世界不同于地理世界,是对地理世界的一种信息化、语义化表达,其内容一部分来自于当前的地理世界,另一部分是对地理世界的未来规划。

### 2.2.2 连续循环的制图与用图过程

制图和用图连接着现实世界与信息世界,其主体由人过渡到机器(制图平台和用图平台),并通过自然智能向人工智能的过渡实现地图信息传输由信息化向智能化飞跃。

制图过程包括数据获取和前置认知,具有感知智能<sup>[34]</sup>。数据获取实现现实世界通过传感器到数据的转换,完成地理世界→地理数据的一次编码(0与1的数字化/离散化)。采集的数据包括道路静态与动态环境信息以及气象、用户等全交通场景,数据来源包括车载传感器、路侧设备和云端。感知的第一手数据汇聚到车端,由于数据体量大,往往通过深度学习技术进行特征提取与地图要素矢量化等前置认知,以将非结构化的原始数据按照要求和规则转换为结构化的地图数据,包括目标对象的位姿、种类和语义等<sup>[33]</sup>,从而实现可用的数据→有用的数据(信息)的二次编码(包括要素几何位置的坐标、概念类型的标识符)。值得一提的是,矢量化处理的几何数据不包括对象的可视化信息<sup>[33]</sup>。前置认知类似于制图综合,包括选择(与交通有关的要素)、分类(如将交通要素分为静态图层和动态图层)、简化(全局规划中对局部细节的简化)和夸张(如夸大或增强障碍物)。不同的是,高精地图综合的主导因子不包括地图比例尺、图解限制。前置认知到地图的信息传输不是单向的,地图也反过来辅助感知系统开展信息获取与数据置信度验证,以保证环境感知的准确性<sup>[4]</sup>。

用图过程包括后置认知与行动实践。后置认知将地图语言转换为汽车语言,即通过用图平台开展地图数据的有效分析分解并形成自动驾驶控制器可用的数据的过程<sup>[22]</sup>,完成高精地图(可用信息)→驾驶知识(有用信息)的三次编码,包括规划、导航、决策与控制等地图增量。高精地图不仅提供导航支持,还提供导航决策本身<sup>[2]</sup>。随后,控制信息通过指导智能汽车控制系统自主驾驶转换为驾驶轨迹,实现人工智慧(为达到目标而运用知识的能力)→行为的4次编码。柯拉斯尼模型中的地图分析包括在纸质地图上利用简单工具和图廓外辅助工具进行手工量算<sup>[12]</sup>,以复现制图者对现实地理环境的认知和获取环境的映像或地图表达的信息。高精地图的用图过程包括地图分析、GIS空间分析、空间数据挖掘与知识发现,服务于自动驾驶而不是复现。传统的用图过程止于行为指导而不包含第4次编码的行

为本身和足迹结果,这延长了用图过程。

上述4次编码对应于数据采集、制图、用图和行为动作等地图信息的4次转换。采集将现实世界转换为信息而行为则是将信息转换为现实世界中的驾驶轨迹,从这个角度采集与行为是一对互逆的交互认知。制图与用图是上下游的传递关系,对应于记忆认知和计算认知,在连续驾驶过程中它们是循环往复的。

### 2.2.3 相互交互的传输与反馈

制图生产与用图服务过程之间存在传送和反馈的交互关系(见图5)。传送是生产过程将结果高精地图共享给服务过程,发生在地图信息传输系统中;反馈是服务过程将评价反馈给生产过程,发生在现实环境中。高精地图不仅提供信息服务与驾驶服务,还对服务结果进行评估,以实现高精地图的持续优化<sup>[4]</sup>。评价内容主要有高精地图对用户需求与场景变化的监测、识别与自适应的能力。主客观相结合的评价体系不同于传统的单一因素,如文献[35]的客观性评价(地图信息传输效率 = 信息传输前的平均信息量 - 传输过程中损失在通道上的平均信息量)和文献[11]的用户评价。

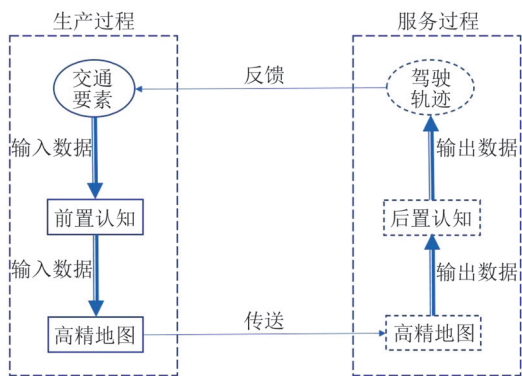


图5 高精地图的生产与服务过程及其之间的传输与反馈关系

Fig. 5 Production and Service Process of High Definition Map and Transmission and Feedback Relationship Between Them

在结构上,上述关系图类似于互联网的分层传输模型<sup>[36]</sup>,每层具有明确的传递和转换功能。从这个角度,高精地图信息传输模型与点对点的通信模型一致,即输入信息(信源)-输入数据(发送器)→传输系统→输出数据(接收器)-信宿(输出信息)。不同的是,高精地图信息传输是由源信息到知识、智慧的升级,而不是单纯的信息复现。

### 2.3 高精地图信息传输过程

上述6个成分地理的与信息的世界、前置的和后置的认知、地图传输和反馈,相互合作共同构成了地图信息传输系统。概括起来,它可以包括如下阶段。

1) 用户需求获取。用户需求的来源有两个方面<sup>[4]</sup>: 驾驶记录数据集,记录用户对数据、界面、控制、感知与预测的操作; 驾驶经验数据集,从海量记录数据中挖掘出用户驾驶经验或习惯等隐性信息。

2) 信息获取。信息获取通常有两类来源<sup>[4]</sup>: 基于车载传感器(如车载雷达)主动感知或直接观察,基于外部系统(如智能交通系统)被动感知或间接观察。

3) 前置认知。获取的数据通过制图平台开展地物感知、定位和制图综合,以形成对交通场景的前置认知。对于道路等静态长周期数据,通常被预先采集和认知,减少传输时延。

4) 高精地图的生成。前置认知通过图形、文字、语言等信息传递手段转化为语义地图,如占位地图、物理地图、控制地图。

5) 后置认知。结合自动驾驶需求分析、解译、挖掘地图,形成用图平台对交通场景的认知,包括规划、导航、决策与控制信息。至此,高精地图完成了信息传输的第一个层次。

6) 行动指导。车辆自动驾驶系统根据控制信息生成轨迹。如果用户满意驾驶轨迹则信息传输结束,否则将对驾驶轨迹的评价传递给制图平台。这一传递逆转了制图与用图平台的角色,制图平台由信息的发送者变为接受者,并充实和丰富前置认知。

高精地图的信息传输模型是循环开放的,主要的传输通道有:(1)制图平台-地图-用图平台,主体传输过程;(2)地图-制图平台,地图辅助制图平台实现精确定位和感知;(3)用户-地图,用户需求、偏好等是高精地图的内容;(4)用图平台-制图平台,用图平台将驾驶轨迹信息传递给制图平台,以作为众包数据源的一部分。

高精地图信息传输模型的开放性不仅体现在理论框架上,还反映在物理传输层面上,如“车路云”协同<sup>[4]</sup>。在现实中,路侧和云端为车端提供地图数据,包括路网、交通信号灯、路况监控等;车端为路侧和云端提供地图数据,包括车辆位置和感知数据。

### 3 高精地图信息传输功能与特点分析

相较于传统的信息传输理论,高精地图传输模型有几个显著的变化。传输目的不是复现而是深度应用,传输主体由机器代替人,传输内容由地理环境专门化为交通场景,传输方向上由单向模式向循环模式转换。

#### 3.1 高精地图信息传输模型的作用

高精地图信息传输模型对驾驶服务具有重要的指导作用,有助于准确把握高精地图的本质及内容结构,为实际应用提供支撑<sup>[4]</sup>。

1) 指导高精地图内容的选取。高精地图数据需要保持与自动驾驶所需的地图信息的统一。

2) 指导自动驾驶高精地图系统的功能、体系框架设计。地图信息传输要求提供信息的响应时间必须满足车辆实时环境变化的要求<sup>[16]</sup>。高精地图急剧增加的数据量,使得目前以云计算模型为核心的集中式大数据处理方式已经不能满足实时计算要求,需要建立分布模式,如“众包+边缘计算”模型<sup>[25]</sup>、车用无线通信技术(vehicle to vehicle or infrastructure, V2X)<sup>[37]</sup>,以在保持数据的鲜度和丰度的同时提高传输效率。

3) 指导信息服务与驾驶服务的优先级<sup>[16]</sup>。对要求响应时间短的服务设置较高的优先级,如动态、近距离的地物。

4) 将高精地图的生产和服务统一到信息传输系统中。高精地图的生产以高精地图服务对地理信息的需求为核心,坚持以用户为中心的原则,考虑用户的个性特征。

5) 指导高精地图的表达。前置与后置认知系统面对的现实世界是相同的,二者的认知应该保持一致以便信息的高效传递<sup>[16]</sup>,这意味着高精度的表达需要将间接信息转换为直接信息,将要素地图转换为语义地图。

#### 3.2 高精地图信息传输特点

高精地图的高精度及其应用场景,使其信息传输具有如下特点。

1) 信息源的特点。传感器的大规模普及使用,使地图内容由传统传输模型中相对静态的地理环境扩展为时空交通场景<sup>[4]</sup>。高精地图在时态上包括历史(如驾驶记录数据集)、当前(如实时动态数据)和未来(如天气预报)3个部分。

2) 信息表达方式的特点。面向机器的高精地图无需可视性的符号,突破了符号的图解、超载等制约。这样,高精地图能扩大容量,能对交

通要素的表达求全求细,而不同于传统地图综合的求专求优,满足用图平台通过地图对交通场景的全面刻画。

高精地图一般采用GIS数据格式,GIS语言代替符号语言。其意义在于<sup>[12]</sup>:一方面,拓宽了地理数据的来源而不再局限于地图数据,包括遥感、卫星导航定位系统、物联网感知数据;另一方面,突破了地理信息源的时间和空间限制,增强了信息的实时性和动态性,而不是传统地图一旦制成其表示内容就被“固化”。此外,这种代替使高精地图的信息传输避免了传统传输模型中地图符号读(解译)/写(制图综合)的二次转换和相应的时间消耗和信息损失,提高传输的时效性。

3) 信息传输的特点。高精地图能实时、循环传递。高精地图的实时动态特征,使得传统传输模型中相对静态的地图空间认知提升至动态感知认知<sup>[4]</sup>。尽管高精地图被视为一种传感器,但仍存在广泛的延迟<sup>[20]</sup>,这意味着车辆所处环境(范围、内容)的变化速度需要与地图信息传输的速度、车辆对地图的处理能力一致<sup>[38]</sup>。如果传输速度过小或时延过长,传输周期末端时的新环境已与始端的环境不一致<sup>[16]</sup>,基于始端的控制指令不适合于新环境。安全高效的自动驾驶要求地图信息传输具有时效性,以快速响应车辆的位置和周围环境的实时动态变化。驾驶轨迹本身是交通要素的一部分,并因此参与到信息源中实现地理信息的循环传递。

制/用图平台摆脱了对人类空间认知与思维能力的依赖和相应地避免了个体专业知识素养对信息传输的影响,提高信息传输的稳定性。值得一提的是,高精地图的加密、审核会增加传输时延。

4) 信息接收者的特点。信息接收者由传统传输模型中的用户扩展至用图平台。用图平台的需求先验地渗透到了制图平台的设计中,两平台相互透明。这样,一方面地图内容能自适应地满足用图平台的需求,改善传输效率;另一方面,间接信息能自适应地转变为直接信息,降低认知负荷,提升认知效果。

5) 信息组织与服务方式的特点。高精地图采用GIS的分层架构。高精地图服务方式以用户为中心,主动监测、识别和自适应用户需求和场景变化,通过自我调整与自我组织提供最匹配的信息服务和驾驶服务<sup>[4]</sup>。

## 4 结 语

本文在经典地图信息传输模型的框架下,结合当前高精地图相关的信息传输模型研究基础,提出了面向机器认知的高精地图信息传输模型,分析了其构成和传输过程,打破了地图信息传递工具局限于地图符号语言和地图信息传递的最终目标局限于用户认知等的惯性,避免了同一用户个性信息在地图产品中作为用户图层和在信息传递过程中作为用户特征与需求的分歧和冗余。

构建的模型采用GIS语言代替传统的地图语言作为信息传递工具,适应地理信息在采集、认知、表达、应用等环节全机器的特点,也避免了地理信息/地图符号转换的信息损失;传输过程不仅涵盖数据/信息间的“无损”转换,还新增了地图信息到控制信息、轨迹信息的应用升华;整合和统一了在高精地图的数据模型与信息传输模型中的用户个性信息,以指导用户图层的设计,也从地图信息传输系统的视角为指导地图模型的设计与优化提供了新的思路。高精地图模型的不同架构如何影响地图信息传输效率将是后续研究的方向之一。

另一个研究方向是明确自动驾驶安全对各地图要素的敏感差异性,以在计算资源有限时优先传输敏感度高的地图信息。驾驶安全依赖于地图要素的敏感性,涉及诸多因子,如在时间方面的数据更新周期、传递周期和自动驾驶要求的最小小时延。理论上,地图要素的变化自发生开始到被地图认知的周期越短越好,但这对车载计算资源的要求是苛刻的,也意味着地图要素的敏感程度可转换为其在地图信息传递过程中的优先级。这样,不同优先级的地图信息对应于不同层级的分路传输子模型,并可集成为基于优先级的分层传输模型。这种将复杂模型分层为子模型的策略有助于降低模型构建的难度,合理分配和优化计算资源,最大程度提高资源利用率和保障驾驶安全。事实上,分层策略已用于高精地图数据建模,如静态层、动态层;然而,现有的地图信息传输模型通常不区分地图要素或其优先层级,在客观上要求平均分配计算资源,难以缓解车辆计算资源有限与安全性要求无限的矛盾。

系统论的任务在于调整系统结构,协调各要素关系,使系统达到优化目标。地图信息传输系统也不例外,其任务包括根据交通场景动态调整

计算资源以保障高优先级的地图信息传输,协调各层传输模型之间的关系,使传输系统更高效、更安全服务于自动驾驶。这也延伸出提出模型的局限性,如仍将地图模型作为整体,忽略了地图各层在传输方面的差异性;尚未构建地图信息传输效率的定量评价方法及其对感知的反馈机制。

尽管高精地图信息传输模型的理论完善和实证测试还有许多工作,但这些工作已清晰表明:(1)面向机器认知的地理信息传递工具宜用GIS语言;(2)传输过程中的用户个性信息需要与地图模型中的用户图层进行整合;(3)自动驾驶中的规划控制指令及其车辆轨迹结果扩展了地图信息传输过程。

## 参 考 文 献

- [1] Guo Renzhong, Chen Yebin, Zhao Zhigang, et al. A Theoretical Framework for the Study of Pan-Maps[J]. *Journal of Geomatics*, 2021, 46(1): 9-15. (郭仁忠, 陈业滨, 赵志刚, 等. 泛地图学理论研究框架[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(1): 9-15.)
- [2] Li Bijun, Guo Yuan, Zhou Jian, et al. Development and Prospects of High Definition Map for Intelligent Vehicle[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20230287. (李必军, 郭圆, 周剑, 等. 智能驾驶高精地图发展与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20230287.)
- [3] 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.)
- [4] 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.)
- [5] Wei Yongjun, Jiang Nan. Information Transmission Function and Extension of Map[J]. *Geomatics Technology and Equipment*, 2000, 2(4): 21-23. (危拥军, 江南. 地图的信息传输功能及扩展[J]. 测绘技术装备, 2000, 2(4): 21-23.)
- [6] Zhang Yanjie, Huang Wei, Liu Xintao, et al. An Approach for High Definition (HD) Maps Informa-



- tion 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.)
- [7] Koláčný A. Cartographic Information: A Fundamental Concept and Term in Modern Cartography [J]. *The Cartographic Journal*, 1969, 6(1): 47-49.
- [8] Ma Jingzhen, Sun Qun, Xiao Qiang, et al. Research on Spatial Information Transmission Based on Volunteered Geographical Information [J]. *Geospatial Information*, 2016, 14(7): 9-11. (马京振, 孙群, 肖强, 等. 基于自发地理信息的空间信息传输研究[J]. 地理空间信息, 2016, 14(7): 9-11.)
- [9] Zhao Tianming. Research on Information Transmission Model of Spatial Knowledge Map [J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2017, 40(6): 148-150. (赵天明. 空间知识地图信息传输模型的研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(6): 148-150.)
- [10] Wang Jiayao. Cartography: From Digital to Intelligent [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 1963-1977. (王家耀. 地图科学技术: 由数字化到智能化[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 1963-1977.)
- [11] Yang Zhenkai. Research on Information Transmission Model of Personalized Map [J]. *Geospatial Information*, 2018, 16(9): 55-57. (杨振凯. 个性化地图的信息传输模型初探[J]. 地理空间信息, 2018, 16(9): 55-57.)
- [12] Wang Jiayao, Sun Linan, Cheng Yi. Innovative Thinking Change Cartography [J]. *Geospatial Information*, 2011, 9(2): 1-5. (王家耀, 孙力楠, 成毅. 创新思维改变地图学[J]. 地理空间信息, 2011, 9(2): 1-5.)
- [13] Feng Changqiang, Jiang Nan, Cao Yani, et al. The Study of Factors on Map Information Transmission Efficiency [J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2012, 35(9): 151-155. (冯长强, 江南, 曹亚妮, 等. 基于信息传输效率因子的移动地图可视化表达研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(9): 151-155.)
- [14] Liu Fang, You Xiong, Yu Jianfeng, et al. A Study of Information Transmission Model of Web Map [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2009(10): 15-17. (刘芳, 游雄, 於建峰, 等. 网络地图的信息传输模型研究[J]. 测绘通报, 2009(10): 15-17.)
- [15] Ma Chao, Liu Wenbing. A Study of Information Transmission Model of Mobile Map [J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2012, 35(10): 153-155. (马超, 刘文兵. 移动地图的信息传输模型研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(10): 153-155.)
- [16] Zhang Haitang, Luo Rui, Guo Jianxing. Geospatial Information Communication and Cognition Model in Mobile Service [J]. *Journal of Geomatics*, 2006, 31(1): 23-25. (张海堂, 罗睿, 郭建星. 移动服务中的空间信息传输与认知模型研究[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(1): 23-25.)
- [17] Golovnin O K, Rybnikov D V. Video Processing Method for High-Definition Maps Generation [C]// International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, Vladivostok, 2020.
- [18] Seif H G, Hu X L. Autonomous Driving in the iCity: HD Maps as a Key Challenge of the Automotive Industry [J]. *Engineering*, 2016, 2(2): 159-162.
- [19] Jeong J, Yoon J Y, Lee H, et al. Tutorial on High Definition Map Generation for Automated Driving in Urban Environments [J]. *Sensors*, 2022, 22(18): 7056.
- [20] Fabris A, Drost F, Parolini L, et al. Online Map Validation for Autonomous Driving [C]// ACM Computer Science in Cars Symposium, Kaiserslautern, Germany 2019.
- [21] Kim C, Cho S, Sunwoo M, et al. Crowd-Sourced Mapping of New Feature Layer for High Definition Map [J]. *Sensors*, 2018, 18(12): 4172.
- [22] Gu Yinghong. Analysis of High-Definition Map for Autonomous Driving Application [J]. *Beijing Surveying and Mapping*, 2022, 36(6): 703-708. (顾颖虹. 浅析高精度地图在自动驾驶系统中的应用[J]. 北京测绘, 2022, 36(6): 703-708.)
- [23] Liu Bing, Meng Liqiu. Research Progress and Prospect of Extended Reality and Geospatial Cognition [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2047-2053. (刘兵, 孟立秋. 扩展现实与地理空间认知研究进展与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2047-2053.)
- [24] Guo Renzhong, Chen Yebin, Zhao Zhigang, et al. Scientific Concept and Representation Framework of Maps in the ICT Era [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 1978-1987. (郭仁忠, 陈业滨, 赵志刚, 等. ICT时代地图的科学概念及表达框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 1978-1987.)
- [25] 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.)
- [26] Boubakri A, Gammar S M, Brahim M B, et al. High Definition Map Update for Autonomous and Connected Vehicles: A Survey [C]//International Wireless Communications and Mobile Computing, Dubrovnik, Croatia, 2022.
- [27] 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.)
- [28] Li Lianying, Nie Chenyi, Zhou Jiang. Information Transmission Model of Cross-Media Atlas [J]. *Journal of Geomatics*, 2021, 46(1): 62-65. (李连营, 聂晨依, 周江. 跨媒介地图集的信息传输模型[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(1): 62-65.)
- [29] Li Deyi. Artificial Intelligence Fundamental Question: Can Machines Think? [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2022, 17(4): 856-858. (李德毅. 人工智能基础问题: 机器能思维吗? [J]. 智能系统学报, 2022, 17(4): 856-858.)
- [30] 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.)
- [31] 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.
- [32] Shimada H, Yamaguchi 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.
- [33] 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.)
- [34] Ren Fu, Weng Jie, Wang Zhao, et al. Some Thoughts on Smart Cartography [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2064-2068. (任福, 翁杰, 王昭, 等. 关于智能地图制图的几点思考[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2064-2068.)
- [35] Gao Bo, Wan Fangjie, Song Guomin, et al. Research of Spatial Information Communication Model in LBS System [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2009, 26(1): 12-14. (高博, 万方杰, 宋国民, 等. 基于位置服务的空间信息传输模型[J]. 测绘科学技术学报, 2009, 26(1): 12-14.)
- [36] Yin Zhangcai. Bi-directionary Cartographic Information Communication Model of Web 2.0 Mapping [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(6): 733-736. (尹章才. Web 2.0地图的双向地图信息传递模型[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(6): 733-736.)
- [37] Xie J L, Tang J, Wang Y Z, et al. Brief Industry Paper: An Infrastructure-Aided High Definition Map Data Provisioning Service for Autonomous Driving [C]//The 27th Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, Nashville, USA, 2021.
- [38] Ebrahimi S B, Razzaghpour M, Valiente R, et al. High Definition Map Representation Techniques for Automated Vehicles [J]. *Electronics*, 2022, 11(20): 3374.