

基于LLM智能体的交通系统建模研究动态

单振宇

(西南交通大学交通运输与物流学院, 四川成都610000)

摘要:选取来自国际学术期刊的论文,以概述形式对城市交通理论方法、实证分析等学术研究成果进行总结性介绍,旨在增强城市交通业界和学界对国际学术动向和研究热点的关注,促进学术交流。针对传统基于智能体的模型(Agent-Based Model, AgBM)在行为表征、灵活性和数据依赖方面的局限性,《迈向基于LLM智能体的交通系统建模:一个概念性框架》一文系统性地提出了一种基于大语言模型(LLM)智能体的交通建模新框架。该框架将LLM智能体作为人类出行者的“数字代理”,通过构建包含身份、特征和记忆系统的精细化智能体画像,并设计感知、决策和行动模块,使其能够模拟复杂、动态的出行决策过程。概念验证仿真结果显示,该框架在提升行为现实性、数据利用效率和模型灵活性方面具有巨大潜力。该论文研究成果为出行需求建模开辟了一条新的研究路径。

关键词:交通系统建模;出行行为;出行需求建模;基于智能体的仿真;大语言模型

Academic Dynamics on LLM-Agent-Based Modeling of Transportation Systems

SHAN Zhenyu

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: A review of selected papers from international academic journals is presented to summarize research findings, theoretical approaches, and empirical analyses of urban transportation. The aim is to enhance the communication between industrial and academic fields in urban transportation, highlight international research focuses, and promote academic exchange. The paper *Toward LLM-Agent-Based Modeling of Transportation Systems: A Conceptual Framework* addresses the limitations of traditional Agent-Based Model (AgBM) concerning behavioral representation, flexibility, and data dependency. It systematically proposes a novel modeling framework based on Large Language Model (LLM) agents. This framework conceptualizes LLM as “digital agents” for real-world travelers. By constructing sophisticated agent profiles that incorporate identity, traits, and memory systems, alongside modules for perception, decision-making, and action, it enables the simulation of complex and dynamic travel decision-making processes. The proof-of-concept results indicate that this framework holds significant potential for enhancing behavioral realism, data utilization efficiency, and model flexibility. The findings of this study pioneer a new research avenue for travel demand modeling.

Keywords: transportation system modeling; travel behavior; travel demand modeling; agent-based simulation; large language model

收稿日期: 2025-09-15

作者简介: 单振宇(1998—),男,山东滕州人,博士研究生,研究方向为交通需求建模,电子邮箱 shanzhenyu@my.swjtu.edu.cn。

引用格式: 单振宇. 基于LLM智能体的交通系统建模研究动态[J]. 城市交通, 2025, 23(6): 124-126.

SHAN Z Y. Academic dynamics on LLM- agent- based modeling of transportation systems[J]. Urban transport of China, 2025, 23(6): 124-126.

研究背景

存量优化的城市发展时代背景对交通建模提出了前所未有的高要求。过去服务于增量规划的集计模型(如“四阶段”法),已难以满足对交通系统进行精细化调控的需求。

为此,以模拟个体行为为核心的基于智能体的模型(Agent-Based Model, AgBM)应运而生,AgBM通过“自下而上”的仿真逻辑,在理论上完美契合了存量发展时代背景下聚焦个体、理解异质性、分析复杂动态交互的

建模需求，为评估精细化政策提供了理想的分析框架。

然而在实际应用中，AgBM的技术实现仍面临若干关键瓶颈，限制了其效能的充分发挥。1)行为表征的局限性。传统AgBM中的智能体决策逻辑通常由计量经济学模型(如离散选择模型)或预定义的规则集驱动，这些方法依赖于较强的行为假设(如完全理性或固定启发式)，难以全面捕捉真实世界中受有限理性、心理因素、社会影响等复杂变量制约的出行决策行为。2)对特定数据的高度依赖。现有AgBM的参数标定与模型验证过程高度依赖于大规模、结构化的出行调查数据，数据的获取成本高、更新周期长，导致模型在数据稀缺地区或面对新兴交通方式时的适用性受限。3)模型结构调整的复杂性。当需要评估新的交通政策时，往往需要对模型的内部结构进行修改和重新编程，这不仅增加了模型的开发与维护成本，也降低了其应对快速变化的规划需求的灵活性与时效性。

近年来，大语言模型(Large Language Model, LLM)在自然语言处理、逻辑推理及情境适应等方面表现出强大的能力，为解决上述瓶颈提供了新的技术路径。鉴于此，《迈向基于LLM智能体的交通系统建模：一个概念性框架》一文通过引入LLM作为智能体的行为引擎，尝试替代传统AgBM中基于显式函数或规则的行为表征方法，以克服其在行为现实性、数据利用效率和应用灵活性等方面的局限。该研究是对交通建模方法论的一次前沿探索，有望为出行需求分析与交通系统仿真领域开辟新的研究范式，并为存量发展背景下的城市交通精细化治理提供更为有效的决策支持工具。

研究内容

该文的核心研究内容在于构建并初步验证一个基于大语言模型智能体(LLM-Agent-Based Model, LLM-AgBM)的交通系统建模框架。

1) 整体框架设计。

LLM-AgBM框架由LLM智能体与物理环境两大核心部分构成，二者通过决策输出与环境反馈的闭环机制进行动态交互。作为框架的行为主体，LLM智能体是人类出行者的“数字代理”。在仿真环境中，通过部署多个具有异质性特征的智能体来分别代表不同的出行个体或家庭，模拟微观层面的出行决策过程。物理环境则通过一个动态交通网络仿真器(如SUMO, Aimsun等)实现，负责模拟交通基础设施的物理特性与运行状

态。它接收所有智能体生成的出行计划，通过交通分配与仿真，计算出网络层面的宏观指标(如路段交通量、行程时间、延误等)。

该框架的运行逻辑为：LLM智能体基于自身属性及从环境中感知的信息生成出行决策；这些决策被转化为仿真器的输入，驱动物理环境的状态演变；演变后的仿真结果作为反馈信息传递给智能体，智能体据此更新认知与经验，从而影响其后续决策，形成一个完整的学习与适应闭环。

2) LLM智能体架构。

为确保智能体行为的现实性与合理性，该文设计了一个模块化的LLM智能体，包含四大功能模块。①画像模块，定义了智能体的内在静态与动态属性，是其行为决策的基础。画像模块包含3个子组件：身份，记录智能体的社会人口学信息(如年龄、职业、居住地)，决定其强制性出行需求；特征，描述智能体的个性化偏好、行为习惯与价值权衡(如时间价值、环保意识)，影响其弹性出行选择；记忆，模拟人类记忆机制，分为存储近期详细行程体验的“短期记忆”和归纳长期出行规律与反思的“长期记忆”。②感知模块，负责智能体与外部世界的信息交互，包括从物理环境中查询实时状态(如路况)，以及从记忆模块中检索相关的历史经验。③决策模块，是智能体的“大脑”，通过精心设计的提示工程(Prompt Engineering)，将画像、感知信息整合为结构化的自然语言输入，引导LLM智能体进行符合逻辑的推理，以生成完整的日活动与出行计划。④行动模块，作为连接智能体与物理环境的桥梁，负责输出LLM智能体生成的决策并解析、转换为物理环境仿真器可识别的标准数据格式(如OD矩阵、出行路径等)。

3) 系统流程。

该框架的系统流程采用基于活动的交通模型(Activity-Based Model, ABM)的逻辑层次，并集成了学习与修正机制，具体流程如下。①活动生成，各智能体根据画像模块中的身份与特征，生成当日的强制性与非强制性活动需求。②日活动模式构建与出行链生成，智能体将生成的活动组织成逻辑自治的日活动模式，并分配到具体的出行链中。③出行决策，针对每一条出行链，智能体决策具体的行程属性，包括出行方式、出发时间与路径选择。④自我修正与提升，对生成的完整出行计划进行内部一致性检查与合理性修正，随后通过行动模块将其转换为结构化输出。⑤交通分配，将所有智能体的结构化出

行计划输入物理环境仿真器，执行动态交通分配，得到运行结果。⑥反馈更新，将仿真结果(如实际到达时间、行程延误)反馈给对应的智能体，智能体据此更新记忆模块，用于指导下一轮的决策。通过不断迭代仿真，智能体能够在与环境的持续互动中实现行为的动态学习与调整。

4) 验证评估。

为初步验证所提出框架的可行性与基本性能，该文设计了一个小规模的概念验证仿真实验。实验环境为一个包含居住区、学区、商业区和休闲区的四节点微型交通网络，并部署了10个不同社会经济属性特征的LLM智能体，进行了为期21天的模拟。

评估主要围绕以下三个维度展开。①检验智能体是否能根据画像持续、稳定地生成符合逻辑的强制性与非强制性活动来评估活动，生成的合理性。②检验行动模块将自然语言决策转换为结构化数据过程中的准确率，来评估决策输出的准确性。③重点观察智能体在面对通勤延误、交通拥堵等负面反馈时后续出发时间决策的调整过程，以评估其动态学习与行为适应能力。结果表明，该框架下的LLM智能体能够可靠地生成活动及准确地格式化输出，并表现出显著的学习与适应行为，初步证实了该框架的技术可行性和理论潜力。

研究结论

该文构建了一个基于LLM智能体的交通建模概念性框架，旨在克服传统AgBM在行为表征、数据依赖和模型灵活性方面存在的局限性，主要结论如下。

1) 该文成功构建了一个集成LLM智能体与动态交通网络仿真器的闭环建模框架。该框架通过精细化的智能体架构(包含画像、感知、决策、行动4个模块)和符合基于活动的交通模型逻辑的仿真流程，实现了从微观行为决策到宏观系统动态的有效耦合。初步的仿真实验表明，该框架在技术上是可行的。

2) 概念验证仿真结果显示，LLM智能体具备模拟人类出行行为的关键能力。首先，智能体能够根据预设的社会人口学“身份”与个性化“特征”，生成符合逻辑的强制性与非强制性活动，展现了对复杂背景信息的理解与应用能力。其次，智能体在与环境的动态交互中表现出显著的学习与适应能力，能够根据过往的出行经验(如通勤延误)动态调整未来的决策(如提前出发)，其行为

模式符合交通行为理论中的适应性学习过程。

3) 该文认为其提出的框架在应对传统AgBM面临的核心瓶颈方面具有显著潜力。①行为现实性方面，LLM智能体内嵌的类人推理能力使其能够超越固化的数学公式，模拟更复杂、更具情境依赖性的决策过程，有望放宽传统模型的刚性行为假设。②数据效率方面，LLM强大的预训练知识库和少样本学习能力，可能减少模型对大规模本地标注数据的依赖，提高建模的效率与可及性。③模型灵活性方面，通过自然语言提示调整智能体行为，而非修改底层代码，极大地简化了模型对新兴交通场景的适应过程，提升了政策评估的敏捷性。

研究展望

尽管该文为LLM智能体在交通建模中的应用提供了前瞻性框架，但仍面临显著局限。1)行为对齐，LLM智能体在精准复现人类决策的随机性、避免系统性偏见以及反映非理想化价值取向方面仍存在挑战，可能影响模型的行为保真度与政策评估的公平性。2)计算资源与可扩展性是制约该范式走向大规模城市级应用的核心技术瓶颈，高昂的计算成本限制了仿真的规模与效率。3)当前尚缺乏一套系统性的模型验证体系，难以从微观和宏观层面全面、定量地评估模型的准确性和可靠性，这是该范式从理论走向实践必须解决的方法论问题。

为应对上述挑战，论文给出未来研究的关键方向。1)需深化行为对齐技术研究，探索将经典行为理论与LLM智能体生成过程相融合的方法，并开发偏见缓解与价值重校准技术，以提升行为现实性。2)应致力于优化计算效率与可扩展性，通过模型压缩、高效推理引擎及分布式计算等策略，降低大规模仿真的技术门槛。3)亟须构建一个多层次的模型验证框架，结合多源数据建立综合评估基准，系统性地检验模型的预测能力。4)聚焦于混合建模方法的深化，通过系统性地界定LLM智能体与传统模型在出行决策链各环节中的最优分工与耦合机制，推动该新兴范式从理论探索向实际应用转化。

资料来源：LIU T, YANG J, YIN Y. Toward LLM-agent-based modeling of transportation systems: a conceptual framework[J]. Artificial intelligence for transportation, 2025, 1: 100001.