

知识图谱与大语言模型赋能交通信号优化的 关键问题与策略研究

程华镇

广东振业优控科技股份有限公司, 广东 中山 528400

DOI: 10.61369/TACS.2026020004

摘 要 : 随着城市化进程的加速和机动车保有量持续增长, 城市道路交通拥堵已成为影响社会经济发展和居民生活的核心问题。交通信号控制作为城市道路交通管理的关键手段, 其优化水平直接影响了路网运行的效率。然而, 面对复杂、多变的交通环境, 传统依赖人工经验的分析优化模式已显露出响应滞后、服务能力不足等问题。基于此, 本文深入探究大数据与人工智能的交通信号协同优化策略, 并在知识图谱与机器学习、大语言模型以及服务流程信息化三大方向分析问题, 提出以构建一体化云服务平台为载体的系统性解决路径。

关 键 词 : 大数据; 人工智能; 交通信号; 协同优化

Key Issues and Strategic Research on Traffic Signal Optimization Empowered by Knowledge Graph and Large Language Models

Cheng Huazhen

GUANGDONG ZHENYE UCTRL TECHNOLOGY CORP.LTD, Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract : With the acceleration of urbanization and the continuous growth of motor vehicle ownership, urban road traffic congestion has become a core issue affecting social and economic development and residents' lives. Traffic signal control, as a key means of urban road traffic management, its optimization level directly affects the efficiency of road network operation. However, facing the complex and changeable traffic environment, the traditional analysis and optimization model relying on manual experience has exposed problems such as delayed response and insufficient service capacity. Based on this, this paper deeply explores the collaborative optimization strategy of traffic signals based on big data and artificial intelligence (AI). It analyzes issues from three directions: knowledge graph, machine learning, large language models (LLMs), and informationization of service processes, and proposes a systematic solution path based on the construction of an integrated cloud service platform.

Keywords : big data; artificial intelligence (AI); traffic signals; collaborative optimization

引言

目前, 城市道路交通流量较大, 并且呈现出常态化拥堵的现象, 交通拥堵不利于居民的日常出行, 还导致环境污染问题严重, 影响了城市经济高质量发展。交通信号控制则作为调节道路交通流量、优化路网通行效率的重要手段, 其控制效果直接决定了城市路网的运行质量。将大数据、人工智能等技术融入到交通信号控制工作中, 有助于精准捕捉问题, 从而进行适当的调整和协同优化, 提高交通信号的控制成效。

一、总体背景和技术演进需求

城市道路交通信号控制优化指的是通过系统的数据采集和问题分析, 对路口、路段和所在区域的信号配时参数进行持续调配, 达到提升通行效率的目的。目前, 我国已从早期的设备安装与基础配置, 发展成为一项系统性的技术服务。然而, 行业的整

体发展面临着转型的挑战。一方面, 交通系统涉及到人、车、路, 涉及到的问题较为复杂, 其运行的状态具有可变性。另一方面, 优化服务工作依赖工程师的主观判断, 这也导致遇到问题时无法从宏观角度进行分析, 解决问题的方法较为单一。项目管理工作主要依托于零碎的办公软件和人工沟通, 整体缺乏标准、系统的管理, 信息化工具的使用程度不足, 这也导致管理的效果

较差。

在人工智能时代，技术实现快速更新迭代，人工智能技术，包括知识图谱、机器学习和大语言模型得到广泛应用，也为交通信号控制的智能化升级提供了技术上的支持。将 AI 技术与城市交通信号控制系统有效融合，能够构建集感知、认知、决策和学习一体化的城市交通信号控制体系，从而提高管理成效^[1]。

二、关键技术现状、问题与解决策略剖析

（一）知识图谱与机器学习的应用

1. 现状分析

知识图谱是一种以图结构表示知识和关系的语义化知识库，它用于描述实体及其相互关系，实现数据的结构化、可理解与可推理。它已初步应用于交通领域，能够分析路口、车道、车辆的情况和复杂关系。在构建层面，技术路径通常涉及到多源异构数据，包括交通检测器数据、GPS 轨迹、事故报告和舆情文本。利用命名实体识别、关系抽取等技术抽取组合，并通过知识融合形成统一的图谱。在应用层面，国内研究主要集中于利用知识图谱增强其他模型。例如，将图谱嵌入作为特征输入到深度学习模型，以提升交通流量和速度的预测精度。构建针对轨道交通、水上交通的安全风险知识图谱，将其用于事故推理和预测。这些探索也验证了知识图谱在交通知识结构化方面的应用潜力^[2]。

2. 核心问题

目前知识图谱技术的应用前景广阔，但知识图谱技术在面向信控优化的深度中，仍然存在有待解决的问题：

应用浅层化，与信控决策核心流程脱节。目前，研究将知识图谱定位为“特征增强器”和“辅助知识库”，其价值并没能触及信号控制策略的生成和优化核心决策环节。构建的图谱处于一种上游的状态预测阶段。但经过预测后，如何通过触发和指导下游的信号控制动作，这一过程中缺乏知识推理的闭环链路。换句话说，知识图谱的知识并没能直接转变为具有执行性的控制逻辑^[3]。

知识孤立化，缺乏跨场景迁移的能力。构建的知识图谱通常针对特定的城市或者研究场景，缺乏统一的框架和自适应机制。城市在长期运行过程中会积累具有经验、行之有效的交通拥堵处理经验，但无法将其迁移运用到另一个新城市。这也导致每个新项目的启动几乎都是从零开始，知识的复用率较低，严重影响到服务规模的扩张。

诊断粗粒度化，关键节点的分析不足。现阶段，利用现有的技术手段能够对交通网络态势进行预测，但对网络中具有决定性作用的关键节点识别存在不足，难以精准把握交通冲突点、易溢流交叉口等情况。未能结合图谱的拓扑结构和实时动态数据，深入挖掘拥堵问题，以及传播和消散激励，无法充分把握“点、线、面”不同层次的调控精准度，无法根据其提供针对性的决策^[4]。

3. 解决策略

针对出现的问题，需要充分利用知识图谱技术进行决策，从辅助支撑向核心驱动的方向推进，确保具备认知推理能力。

构建时空融合的“感知－诊断”一体化的图谱。突破现有的静态路网结构的图谱，构建融合静态知识、准静态知识、动态知识多维时空知识图谱。利用图神经网络直接对此图谱进行学习和推理，从而实现由原始数据到交通状态的端到端的“感知”与“诊断”，使图谱成为统一认知模型。

研发具有迁移学习功能的知识图谱自适应技术。设计轻量级的图谱迁移学习应用算法，其关键在于将源城市图谱中的交通规律特点形成模型参数，通过自图结构进行提取和封装，并作为先验知识。当应用于目标城市时，只需要利用目标城市的少量数据进行微调，就可以快速构建专属的知识图谱，加速新环境的认知过程，确保技术的有效应用。

集成关键点挖掘和根因分析算法。在图神经网络框架体系中，融入具有中心性度量、社区发现或注意力机制的关键节点检测算法，自动、持续识别路网中的薄弱环节。根据因果推理和反事实分析技术，对关键问题出现的异常状态进行溯源。例如，判断上游流入过量，本节点通行能力不足还是下游疏散不畅所致，进而制定针对性地优化策略，提供精准的决策支持^[5]。

（二）大语言模型在交通信号控制中的应用

1. 现状分析

具有良好上下文理解能力和序列生成能力的基于 Transformer 的大语言模型对很多领域的应用都带来了革命性的变化，目前在交通领域也出现了一些类似的垂直领域模型，如北京交通大学开源了 TransGPT 模型，可应用于交通规划咨询、事故报告生成、安全宣传教育等 NLP 任务中。从技术上来说，针对通用大模型进行微调或者提示工程技术是让其能够适配具体下游任务的两种主流方式。其中，微调是指使用领域信息继续优化模型中的参数；提示工程则是指通过设计输入文本的形式及内容来指导模型产生想要的结果。上述技术在其他领域的有效运用给我们的信控策略生成工作提供了一定的技术参考依据^[6]。

2. 核心问题

领域知识和语料极其稀缺。信控优化中存在大量的专业名词，如：相位、相序、绿信比、饱和度、协调带宽；工程规则，如国标对信号灯设置、配时的要求；复杂的时空约束关系，如车道的功能、交通流的方向、行人过街的时间。目前尚没有公开的、海量的、质量较高的结构化领域语料库，比如规范化的优化案例报告，包括问题说明、数据分析、方案设计、效果验证的完整逻辑链条。没有“教材”，模型是学不到领域“专业知识”和“思维模式”的。

生成结果的可靠、安全及可操作性风险。大模型的生成是随机和不可解释的，可能会有违背交通法规，如设置全红时间不足的问题、不满足物理约束条件，如绿灯时间小于最小绿灯时间或者在现实中不可能实现的方案，如建议增加车道但是没有足够空间的策略。如何将领域知识、安全规范作为硬约束或者强引导输入到模型的生成过程中，使得生成策略更加合规、安全、可行，是技术落地最大的阻碍^[7]。

评价体系与优化目标错位。目前 NLP 领域主流的自动评价指标，如 BLEU、ROUGE 关注的是生成文本与参考文本的词、句相

似度；而信控策略好坏的根本是其带来的交通收益，即车辆平均延误降低的百分数、队列长度减少、通行效率提高等等。文本相似度高等于交通效果好。缺少与业务目标对齐的评估体系，就难以指导模型训练和优化。

3. 解决策略

利用标杆案例构建高质量领域指令微调样本以及 Prompt 模板。梳理公司过往完成过的大量优化工程报告、经验交流材料，将其中包含的信息挖掘出来，并做预处理、标注、格式化为“问题-输入信息（渠化情况、流量）-条件限制（相关规范规定、已建工程等）-需求目标（优化方向、优化手段）”的形式，作为指令微调的数据来源。对单点优化、干线协调、区域拥堵等典型任务，建立标准提示工程模板，实现问题格式化以降低模型理解难度^[9]。

开发融合规则约束的模型微调和引导生成机制，采用检索增强生成的方法。当模型接收到问题后，需要根据结构化知识库和案例库分析到相应的场景，并对历史成功方案展开分析。在微调阶段，将交通规则、安全标准作为损失函数的正则化项，通过约束解码技术，在生成过程中过滤不符合约束的词汇。在提示中明确加入道路交通信号灯设置于安装规范领域的指令，确保模型生成处于安全护栏之内。

构建方针驱动与人工反馈相结合的多维评价体系。一是利用文本指标做好初步的筛选。二是将生成的策略方案自动转换为仿

真软件可读的输入文件，并通过微观交通仿真计算其关键性能指标，包括延误、排队、停车次数。仿真结果作为核心反馈信号用于模型优化。三是引入专家评审环节，对策略创新性、工程简便性进行评分，形成混合评价信号，持续迭代提升模型生成策略的实用价值^[9-10]。

三、结语

大数据与人工智能技术的应用，有助于解决当前传统交通信号控制的弊端，实现交通信号控制的智能化、自动化与精细化，提升路网通行的整体效率，为城市交通治理现代化提供帮助和支持。在 AI、大数据、边缘计算等技术高速发展的背景下，城市道路交通信号控制向着智能化、协同化、精准化的方向发展，未来有望实现从被动优化到主动预判的方向发展。在技术层面，AI 模型将实现更加精准的预测和灵活的配时优化，结合边缘计算技术，实现信号控制的本地化，降低网络延迟，提高适配性。在产业层面，AI 城市道路交通信号控制将形成更加完善的产业链，技术产业化程度不断提升，设备研发、数据服务、平台运营都将实现快速发展。在社会层面，AI 城市道路交通信号控制技术的发展，有助于缓解城市交通拥堵，减少环境污染，提升城市的交通治理水平，带来良好的出行感受。

参考文献

[1] 王宝君. 交通信息工程与智能交通信号控制系统的协同优化研究 [J]. 人民公交, 2024, (18): 57-59.

[2] 周斌. 多源数据环境下基于深度强化学习的区域交通信号优化 [D]. 浙江大学, 2024.

[3] 吴仁坤, 吴玉广. 基于人工智能的道路交通系统技术研究 [J]. 人民公交, 2025, (22): 26-28.

[4] 王鹏, 张震. 交通信息化中智能感知技术的发展与应用 [J]. 数字技术与应用, 2025, 43(10): 7-9.

[5] Agrahari A, Dhabu M M, Deshpande S P, et al. Artificial Intelligence-Based Adaptive Traffic Signal Control System: A Comprehensive Review [J]. Electronics, 2024, 13(19): 3875-3875.

[6] 施卫华. 人工智能技术在智能交通领域的应用 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6(04): 22-24.

[7] Xiuli L, Huachang M. Application of Artificial Intelligence Technology in Optimizing Control Parameters of Traffic Signal Group Systems [J]. International Journal of Intelligent Information Technologies (IJIT), 2024, 20(1): 1-19.

[8] 冯永芳. 基于人工智能的智能交通信号控制系统设计 [J]. 软件, 2024, 45(12): 59-61.

[9] 何国涛. 人工智能在高速公路交通流量管理中的应用 [J]. 中国设备工程, 2024, (23): 33-35.

[10] 杨生娇. 考虑积水影响的城市道路网络交通多策略协同疏导方法 [D]. 华南理工大学, 2024.