

# 基于大数据分析的智能交通系统优化研究

李冬梅 陆宇 杨云波\*

内蒙古自治区大数据中心

DOI:10.32629/acair.v4i1.19358

**[摘要]** 随着全球城市化进程的加速与机动车保有量的激增,交通拥堵、事故频发、排放超标等“城市病”已成为制约社会可持续发展的重大挑战。传统交通管理系统依赖于有限的采样数据和静态模型,其响应迟滞与调控粗放的弊端日益凸显。大数据技术的成熟与普及,为智能交通系统(Intelligent Transportation Systems,ITS)的范式革新提供了历史性机遇。本研究旨在系统构建一个基于大数据分析的智能交通系统优化框架,并深入剖析其核心理论与关键技术。论文首先阐释了交通大数据的内涵、特征及研究紧迫性;继而提出了一个包含数据感知、平台治理、智能计算与应用服务四层架构的优化体系;重点研究了多源异构数据融合、基于深度学习的交通态势预测、数据驱动的动态信号控制优化以及宏观出行需求管理等核心技术;同时,结合典型城市应用案例,验证了该框架的有效性;最后,论文客观指出了当前面临的数据隐私、模型可信及系统集成等挑战,并对未来研究方向进行了展望。研究表明,以大数据为驱动、以人工智能为引擎的智能交通优化,能够实现从被动响应到主动干预、从经验决策到科学决策的根本性转变,是构建安全、高效、绿色、智慧的未来综合交通系统的必由之路。

**[关键词]** 大数据分析; 智能交通系统; 交通优化; 深度学习; 数据融合; 自适应信号控制

**中图分类号:** C37 **文献标识码:** A

## Research on optimization of intelligent transportation system based on big data analysis

Dongmei Li Yu Lu Yunbo Yang\*

Big Data Center of Inner Mongolia Autonomous Region

**[Abstract]** With the acceleration of global urbanization and the surge in motor vehicle ownership, "urban diseases" such as traffic congestion, frequent accidents, and excessive emissions have become major challenges constraining sustainable social development. Traditional traffic management systems rely on limited sampling data and static models, and their drawbacks of delayed response and extensive regulation have become increasingly prominent. The maturity and popularization of big data technology provide a historic opportunity for the paradigm innovation of Intelligent Transportation Systems (ITS). This study aims to systematically construct an intelligent transportation system optimization framework based on big data analysis and deeply analyze its core theories and key technologies. The paper first explains the connotation, characteristics, and research urgency of transportation big data; then proposes an optimization system with a four-layer architecture including data perception, platform governance, intelligent computing, and application services; focuses on core technologies such as multi-source heterogeneous data fusion, traffic situation prediction based on deep learning, data-driven dynamic signal control optimization, and macro travel demand management; meanwhile, verifies the effectiveness of the framework through typical urban application cases; finally, the paper objectively points out the current challenges faced, such as data privacy, model credibility, and system integration, and looks forward to future research directions. The research shows that intelligent transportation optimization driven by big data and powered by artificial intelligence can achieve a fundamental transformation from passive response to active intervention, and from empirical decision-making to scientific decision-making. It is the only way to build a safe, efficient, green, and intelligent future integrated transportation system.

**[Key words]** big data analysis; intelligent transportation system; traffic optimization; deep learning; data fusion; adaptive signal control

## 1 引言

21世纪的交通运输系统正经历一场深刻的数字化革命。智能交通系统(ITS)作为现代交通管理的核心,其发展水平直接关系到城市运行效率与居民生活质量。传统的ITS解决方案多基于布设有限的感应线圈、视频摄像机等固定检测器,其数据维度单一、覆盖不全,且分析模型多依赖于简化假设,难以应对交通系统固有的复杂性、随机性与动态性<sup>[1]</sup>。这种“数据贫血”和“模型失准”导致管理策略往往滞后于实际交通状态的变化,优化效果有限。

与此同时,物联网、5G通信、云计算及移动互联网技术的爆炸式发展,催生了一个前所未有的交通大数据时代。这些数据来源广泛、形态多样、价值密度低但总体规模庞大,主要包括:(1)浮动车轨迹数据:来自出租车、网约车、公交车的连续GPS点,蕴含了丰富的移动速度与路径选择信息;(2)基础设施感知数据:来自高清卡口、电子警察、地磁、雷达等,可精确获取车辆身份、流量及事件信息;(3)移动通信数据:基于手机信令的匿名位置数据,能够反映大规模人群的移动模式和时空分布;(4)公众交互与互联网数据:导航软件(如高德、百度)的实时路况、出行预约、社交媒体舆情等,体现了出行者的行为意图与主观感受;(5)车辆自身网联数据:来自车载传感器(CAN总线)和车联网(V2X)通信的车辆状态、驾驶行为及环境感知信息。

这些多源异构大数据构成了城市交通的“数字孪生”基础,使我们能够以近乎全息、实时的视角洞察交通系统的微观与宏观运行规律<sup>[2]</sup>。因此,如何有效地采集、融合、挖掘这些海量数据,并提炼出具有决策价值的深刻洞见,进而驱动交通管控、出行服务与规划建设的全方位优化,已成为学术界与产业界共同关注的前沿热点。本研究的意义在于,系统性地梳理大数据与ITS融合的理论框架与技术路径,为破解城市交通难题提供一套科学、可操作的方法论体系。

## 2 基于大数据分析的ITS优化总体框架

一个完整、高效的大数据驱动型智能交通优化体系,应具备分层解耦、闭环反馈的特征。本文提出一个四层逻辑架构:

第一层:全域协同感知层。该层是体系的“神经末梢”,其核心任务是实现交通要素的全面数字化。通过“端-边”协同,广泛部署各类智能传感设备(如智能摄像头、RFID、路侧单元RSU),并高效接入浮动车、手机信令等移动数据源,实现对路网状态、车辆轨迹、行人流量、环境信息的全天候、全要素、全样本采集,构建覆盖“人-车-路-环境”的立体感知网络。

第二层:数据汇聚与治理层。该层是体系的“中枢神经”,负责数据的“血液”净化与输送。利用云计算和边缘计算混合架构,构建城市级“交通数据湖”。在此环节,关键任务包括:对原始数据进行清洗、去噪、修复;建立统一时空基准下的多源数据关联与融合模型(如基于卡尔曼滤波或深度学习的融合算法);对数据进行标准化与资产化管理,形成高质量、可复用的主题数据仓库,为上层分析提供可靠原料。

第三层:智能分析与决策层。此为体系的“大脑”,是价

值创造的核心。本层深度融合人工智能与交通工程理论。一方面,运用数据挖掘、机器学习和复杂的网络科学方法,实现交通状态精准识别(拥堵指数、行程时间)、短时预测(基于LSTM、GNN的流量/速度预测)、事件自动检测(事故、违法)和出行需求深度洞察(OD矩阵、出行链)。另一方面,基于上述分析结果,利用优化算法(如强化学习、进化算法)和仿真推演平台,生成最优或次优的管控策略,如区域自适应信号配时方案、动态路径诱导策略、可变车道控制方案以及需求管理策略(如动态定价)。

第四层:智慧应用与服务层。该层是体系的“四肢”,实现决策的落地与价值的传递。将决策指令下发至物理执行系统(信号机、信息发布板),同时通过各类服务渠道(政务平台、导航APP、车载终端)向管理者和公众提供丰富服务。典型应用包括:智能信号控制、动态车道管理、公共交通智能调度、个性化出行诱导、智慧停车引导以及应急指挥联动。

该框架形成了“感知-分析-决策-执行-反馈”的完整闭环,使交通系统成为一个能够自我感知、自主学习、自主优化的有机生命体。

## 3 核心优化关键技术深度剖析

### 3.1 多源异构交通数据融合与质量提升技术

数据的质量与融合深度直接决定上层应用的成败。挑战在于:(1)时空异步:不同数据源的时间戳精度和空间参考系不同;(2)模态差异:结构化数据(流量)与非结构化数据(视频)并存;(3)样本偏差:如出租车GPS数据不能代表所有车辆。研究前沿包括:基于深度学习的端到端融合模型(如多模态Transformer),能自动学习不同数据源间的复杂关联;利用生成对抗网络(GAN)对低质量或稀疏数据进行补全与增强,有效解决“数据荒”问题。

### 3.2 基于深度学习的交通流时空预测模型

精准预测是动态优化的前提。交通流具有高度的非线性和时空相关性。传统模型难以奏效。当前主流方法为:图神经网络(GNN)与时空图卷积网络(ST-GCN)。这些模型将路网天然地建模为图结构(节点为路段或交叉口,边为连接关系),利用图卷积同时捕捉空间依赖(相邻路段影响)和时间依赖(历史序列模式),预测精度显著优于传统时间序列模型和普通循环神经网络<sup>[3]</sup>。更进一步,结合注意力机制(Attention)的模型,能自适应地关注对预测目标影响最大的时空节点,提升模型的可解释性。

### 3.3 数据驱动的自适应信号控制优化

这是缓解城市拥堵最直接的手段。强化学习(RL)在该领域展现出巨大潜力。其将交叉口或路网视为环境,信号相位和时长调整作为智能体的动作,以平均延误、排队长度、通行量等指标构建奖励函数。智能体通过与环境的持续交互(在线或利用历史数据模拟),学习最优控制策略。深度强化学习(DRL),如基于深度Q网络(DQN)或近端策略优化(PPO)的方法,能够处理高维状态空间,实现从单点自适应到干线乃至区域协同自适应的跨越<sup>[4]</sup>。其优势在于能够发现超出人类经验认知的、高效的配时方案。

### 3.4 宏观出行需求分析与政策仿真优化

从更长周期和更宏观视角优化交通结构。利用手机信令、公交地铁刷卡等大数据,可以构建精细到社区级别的日/周/月出行OD矩阵,准确识别通勤走廊、就业居住中心及潮汐现象。在此基础上,结合土地利用、人口经济数据,可构建基于大数据的交通需求模型,用于评估重大基建项目(如新建地铁线)的客流影响。更重要的是,可对拥堵收费、限行、停车管理、公交优先等政策进行“沙盘推演”,预测其实施效果与社会经济影响,为科学决策提供定量支撑。

#### 4 典型应用场景与实践案例分析

场景一:城市“交通大脑”与指挥中枢。以中国杭州“城市大脑·交通”为例。该系统融合了全市上千个交通路口数据、数万辆浮动车数据及互联网路况数据,实现了全域实时交通态势“一屏可观”。其核心应用“信号灯自动配时优化”,通过AI算法对路口进行智能控制,试点区域通行效率平均提升了15%以上<sup>[5]</sup>。

场景二:MaaS(出行即服务)与个性化诱导。基于对个体出行历史和多模式交通数据的分析,MaaS平台能为用户规划并预订包含步行、共享单车、公交、地铁、网约车等多种方式的最优组合出行方案,实现“门到门”无缝衔接。同时,通过群体诱导,平衡路网流量,避免因导航App推荐相同“最快路径”而引发的局部拥堵。

场景三:公交线网动态优化与智能调度。通过分析公交刷卡数据和车辆GPS数据,精准识别客流断面、满载率及候车时间。系统可动态调整发车间隔,在高峰时段增开区间车或大站快车,在平峰时段减少空驶率。例如,深圳利用大数据定期对公交线网进行评估和调整,显著提升了公交服务效率与吸引力。

场景四:交通安全主动防控体系。融合历史事故数据、实时交通流数据和道路环境数据,构建事故风险预测模型,识别高风险路段和时段。同时,利用视频AI自动检测开车打手机、不系安全带等高风险驾驶行为,实现从“事后处置”到“事前预警、事中干预”的转变。

#### 5 面临的主要挑战与未来展望

##### 5.1 主要挑战

数据安全与隐私保护: 轨迹数据、手机信令等高度关联个人隐私。如何在保障数据可用性的前提下,实现严格的匿名化与脱敏,并建立完善的数据安全治理法规,是必须解决的伦理与法律问题。

模型的可解释性与可靠性: 深度学习等复杂模型常被视为“黑箱”,其在极端情况下的决策逻辑难以理解,影响交通管理者(尤其是安全关键领域)的信任。模型的鲁棒性和对抗攻击防御能力也需加强。

“信息孤岛”与系统协同难题: 交通数据分散于公安、交管、市政、互联网企业等多个部门与主体,体制与利益壁垒导致数据难以真正共享融通,限制了全局优化效果。

技术集成与成本效益平衡: 先进技术的部署与维护成本高昂,如何设计合理的商业模式,确保系统长期可持续运营,并在不同规模城市中找到适合的技术路径,是产业化推广的关键。

##### 5.2 未来展望

未来研究方向将呈现以下趋势:一是技术融合深化,推动大数据与人工智能、数字孪生、“车路云一体化”深度融合,构建高保真的交通虚拟世界,实现更精准的仿真与决策。二是隐私计算普及,联邦学习、安全多方计算等技术将在不共享原始数据的前提下实现联合建模,破解数据共享困局。三是“以人为本”的精细化服务,优化目标将从单一的效率导向,转向兼顾公平、安全、低碳和出行体验的综合提升。四是与“双碳”战略紧密结合,发展基于大数据的交通碳排放监测与优化技术,为绿色出行激励和政策制定提供量化工具。

#### 6 结论

大数据分析技术正以前所未有的深度和广度重塑智能交通系统的理论与实践。本文系统论证了,通过构建“感知-融合-分析-决策-应用”的完整技术链,能够深度挖掘交通数据金矿的价值,实现交通系统运行状态的全面洞察、精准预测与智能调控。核心技术的突破,特别是在深度学习、强化学习与多源数据融合方面的进展,为解决长期存在的交通难题提供了全新的方法和强大的工具集。尽管在数据隐私、模型可信和系统协同等方面仍面临挑战,但随着技术的不断演进和跨领域合作的深化,一个以数据为驱动、更加智慧、韧性、可持续的未来交通系统必将实现。这不仅是技术进步的必然结果,更是应对城市化挑战、提升公共福祉的战略选择。

#### [参考文献]

- [1]王笑京,沈鸿飞.智能交通系统发展历程与趋势分析[J].交通运输系统工程与信息,2018,18(1):1-8.
- [2]李瑞敏,章玉.交通大数据:现状、挑战与机遇[J].城市交通,2015,13(6):1-8.
- [3]YUB,YINH,ZHUZ. Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks:A Deep Learning Framework for Traffic Forecasting [C]//Proceedings of the 27th International Joint Conference on Artificial Intelligence.2018:3634-3640.
- [4]WEI H,ZHENG G,YAO H,et al.IntelliLight: A Reinforcement Learning Approach for Intelligent Traffic Light Control[C]//Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining.2018:2496-2505.
- [5]刘鹏,王坚.城市大脑:城市可持续发展的数字基础设施[J].Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2020,21(1):4-19.

#### 作者简介:

李冬梅(1970--),女,汉族,内蒙古呼和浩特市人,大学本科,副高级工程师,研究方向:大数据应用。