

“双碳”目标驱动下的轻量级城市智慧交通系统构建路径与策略研究

倪天伟 林金珠

信阳学院 大数据与人工智能学院, 中国·河南 信阳 464000

摘要: 轻量级城市智慧交通系统作为城市交通管理的重要手段, 对于促进节能减排、优化交通结构、提高交通效率具有重要意义。本文聚焦于“双碳”目标驱动下的轻量级城市智慧交通系统构建路径与策略展开探讨。通过建立碳排放动态预测模型, 综合考虑城市交通流量、车辆类型、能源消耗等方面因素, 用来预测不同交通场景下的碳排放情况。通过仿真实验, 模拟不同交通场景策略下系统的运行状况, 评估不同交通解决方案对碳排放产生的影响, 以此验证该系统在节能减排方面的效果。

关键词: “双碳”目标; 轻量级城市; 智慧交通系统; 碳排放模型

Research on the Construction Path and Strategy of Lightweight Urban Smart Transportation Systems Driven by the "Dual Carbon" Goals

Ni Tianwei, Lin Jinzhu

School of Big Data and Artificial Intelligence, Xinyang College, China Henan Xinyang 464000

Abstract: Lightweight urban intelligent transportation system, as an important means of urban traffic management, is of great significance in promoting energy conservation and emission reduction, optimizing traffic structure, and improving traffic efficiency. This article focuses on the construction path and strategy of lightweight urban intelligent transportation system driven by the "dual carbon" target. By establishing a dynamic prediction model for carbon emissions, taking into account factors such as urban traffic flow, vehicle types, and energy consumption, it is used to predict carbon emissions under different transportation scenarios. Through simulation experiments, simulate the operation status of the system under different traffic scenario strategies, evaluate the impact of different traffic solutions on carbon emissions, and verify the effectiveness of the system in energy conservation and emission reduction.

Keywords: Dual carbon goals; Lightweight city; Intelligent transportation system; Carbon emission model

0 引言

近年来, 城市交通作为重要的碳排放来源, 在城市绿色发展进程中扮演着不可替代的角色, 贯彻落实“双碳”目标, 加快城市交通绿色转型具有重要作用。2020年9月, 我国提出“双碳”目标, 力争2030年前实现“碳达峰”、努力争取2060年前实现“碳中和”, 坚定不移走生态优先、绿色发展之路^[1]。2022年1月, 国务院印发了《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》, 并明确提出有序推进城市交通智慧化管理平台建设, 加强城市交通精细化管理。2022年6月, 科技部等九部门关于印发《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》的通知中强调构建数字化交通基础设施体系, 促进交通系统能效管理提升和优化, 推广智能交通, 推动互联网、人工智能等新技术与交通运输新业态融合发展。在城市化推动交通需求增长的同时,

传统的交通管理系统已无法满足日益复杂的交通状况^[2]。基于此, 轻量级城市智慧交通系统作为城市交通管理的重要模式之一, 通过引入先进的数据通信传输、电子传感、计算机等技术, 实现对轻量级城市交通的感知、评价与改善, 提供智能、快速、便捷的交通服务。

1 轻量级城市智慧交通系统构建路径

轻量级城市智慧交通系统基于物联网、云计算、大数据等技术, 实施交通数据采集和运算, 为城市交通建设做出便捷、节能、低耗的方案。该系统包括如下基本模块:

1.1 数据分析和模块

使用传感器、摄像头等方式采集实时交通流量、行驶速度、拥堵程度等交通管理信息并及时将这些信息传送到数据中心进行分析和处理, 可以应用大数据技术对所采集的数据进行挖掘分析, 发现交通规律及趋势, 为交通优化

决策提供依据。

1.2 交通信号自适应控制模块

依据实时的交通情况智能控制红绿灯的时序和配时方案, 及时实现交通流量的优化以及减少交通堵塞和排放, 提升道路交通管控的智能化。并且还可以通过仿真实验对不同的红绿灯配时方案进行评价和优化, 提升交通信号配时管控的效率与准确性。

1.3 绿色能源宣传模块

新能源及清洁能源宣传是交通领域减排的突破点。建立充电桩等交通能源设施, 在推广新能源汽车的同时, 还可利用太阳能、风能等新能源清洁能源对交通设施进行能源供应, 减少交通领域的能源使用及碳排放。

1.4 智慧交通管理服务

借助大数据、AI 等技术来实现实时采集处理并共享的交通数据, 对交通管理进行智慧提升, 也可为出行者提供一网通服务, 以及便捷的个性化交通服务 (如智能交通、智慧停车), 增强城市交通的舒适性。

2 碳排放动态预测模型建立

2.1 模型选择与设计

为了预估城市交通领域的碳排放水平, 构建一个动态的碳排放预测模型, 本系统选择 MOVES 模型, 该模型采用的是开放性的数据库管理系统, 可由用户自己定义各个参数, 针对不同地区有较强的适应性^[3]。MOVES 模型微观排放计算基于车辆运行工况分布, 其核心公式为:

$$E = \sum_{i=1}^n EF_i \times T_i$$

式中, E 为总排放量, EF_i 为第 i 种工况排放因子, T_i 为对应工况持续时间。

作为预测框架的核心, 该模型依托于车辆比功率 (VSP)、行驶速度及加速度等反映车辆真实运行状况的特征参数, 能够精准捕捉并体现不同运行状态下的排放差异^[4]。其计算式定义如下:

$$VSP = v \cdot (1.1a + 0.132) + 0.000302v^3$$

式中, v 为瞬时速度 (m/s), a 为加速度 (m/s²), 通过 VSP 区间划分建立与排放率的映射关系, 分车型的瞬时碳排放率可表示为:

$$ER_{i,j} = \sum_{k=1}^{20} \delta_{VSP_k} \cdot EF_{i,j,k} \cdot \Delta t$$

式中, i 为车辆类型, j 为排放污染物类型, $EF_{i,j,k}$ 表示第 k 个 VSP 区间对应的排放因子 (g/s), δ_{VSP_k} 为工况状

态指示函数。

2.2 数据收集与处理

采集数据需要涵盖城市的主干道路网, 采集的输入数据包括流量检测器采集的每分钟的车辆数量、车型分布等数据, 在数据预处理环节中应用改进的滑动窗口异常检测算法处理异常值。对于时间序列数据点 x_t , 定义局部窗口 $W_t = [x_{t-k}, \dots, x_{t+k}]$, 计算窗口内数据的中位数 M_t 和绝对中位差 MAD_t , 设定异常判定条件为:

$$|x_t - M_t| > 3 \times 1.4826 \times MAD_t$$

对于缺失值处理, 定义观测矩阵 $X \in \mathbb{R}^{N \times T}$ (N 个监测点, T 个时间片), 通过低秩约束求解补全矩阵:

$$\min_Z \|z\|_* + \lambda \|P_\Omega(Z - X)\|_F^2 \quad s.t. \quad Z \in \mathbb{R}^{N \times T}$$

其中, Ω 为观测索引集, P_Ω 是一个投影算子, $\|\cdot\|_*$ 表示核范数, λ 是一个正则化参数, 用于平衡秩的最小化和观测数据拟合之间的权衡。

2.3 模型参数估计与检验

模型参数估计。本系统采用带正则化约束的加权最小二乘法进行参数优化。针对交通碳排放预测模型的多维特征输入问题, 定义线性回归模型形式为: $y = X\beta + \epsilon$

式中, $X \in \mathbb{R}^{n \times p}$ 为包含特征的标准化设计矩阵, $\beta \in \mathbb{R}^p$ 为待估参数向量。为缓解多重共线性影响, 引入 Tikhonov 正则化项构建目标函数:

$$J(\beta) = \frac{1}{2n} \|W^{1/2}(y - X\beta)\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|\beta\|_2^2$$

式中, $W = \text{diag}(\omega_i)$ 权重通过特征重要性 MIC 值确定, 正则化参数 λ 采用交叉验证选取。通过求解正规方程:

$$(X^T W X + n\lambda I) \beta = X^T W y$$

获得参数估计值 $\hat{\beta}$:

$$\hat{\beta} = (X^T W X + n\lambda I)^{-1} X^T W y$$

通过不断调整模型参数的值, 使得预测结果与实际情况尽可能接近。

模型检验, 本系统采用 R 方值和均方误差等指标对模型的拟合效果进行评估。采用修正的拟合优度指标评估模型性能。定义标准化均方误差:

$$NMSE = \frac{\|y - X\hat{\beta}\|_2^2}{\text{Var}(y)}$$

同时, 计算考虑自由度修正的调整 R^2 :

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)}{n - p - 1}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

y_i 式中, $\hat{y}_i$ 是实际观测值, 是拟合值, $\bar{y}$ 表示所有观测值的均值。

通过对比不同参数组合下的模型拟合效果, 选择最优的模型参数组合。

3 仿真实验与分析

3.1 实验设计

为了验证该系统在减少碳排放, 提高交通效率方面的有效性, 本文设计了仿真实验, 该实验采用 Vissim 微观交通仿真软件[5] 生成交通流轨迹, 使用 Vissim 中的路网单元模块 (Link 和 Connector) 建立路网, 模拟两种交通场景下的交通流动和碳排放情况。Vissim 仿真场景如图 1 所示。



图1 研究区域仿真模型

为了评估轻型智慧交通解决方案在碳减排效果方面的作用, 本文构建两组对比情景: 一是由常规燃油汽车占据的交通情景 (基准组), 二是由新能源汽车渗透率占 30% 的交通情景 (NEV 组), 以观测不同交通情景下的碳减排效果。通过 Python 调用 Vissim 的 COM 接口进行操作, 包括设置仿真参数和获取车辆信息等, 实现实时数据交互并处理。

3.2 实验结果与分析

采用 MOVES 模型动态计算基于车辆的运行状态 (如速度、加速度) 动态计算瞬时排放率, 实时获取每辆车的排放数据, 包括 CO、NO_x、CO₂ 等污染物的排放量。在仿真时长两小时后, 统计分析得到碳排放峰值较基准组下降约 45% ($p < 0.001$), 其减排效应呈现显著非线性特征, 关键指标值如表 1 所示。

表1 两种场景的关键指标对比

参数类型 组别	基准组	NEV组
CO(g/km.veh)	2.237	1.108
NOx(g/km.veh)	0.056	0.032
CO2(g/km.veh)	263.4	144.2
平均能耗 (kWh/km)	13.6	7.7
平均延误 (s/veh)	94.3	62.1

基准组与 NEV 组碳排强度均随仿真时间的变化呈现

下降趋势, 然而二者的碳排强度下降的幅度与速度均存在差异, 如图 2 所示。整个仿真时间内 NEV 组碳排放强度都处于下降状态且下降趋势平稳, 表明 NEV 组碳排放降低潜力相对较好, 且随着时间的增加表现出愈加明显的优势。

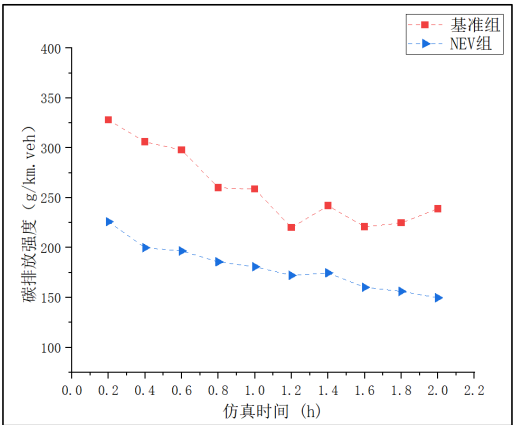


图2 对比两组场景的碳排放强度时序曲线图

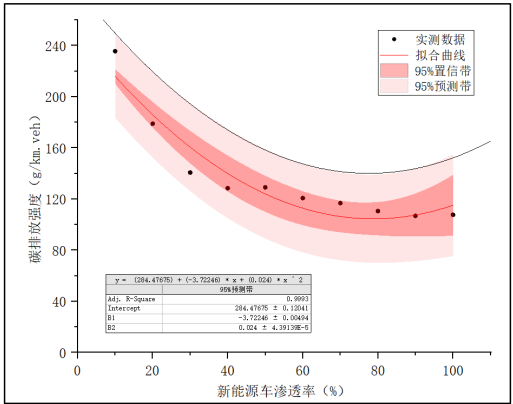


图3 新能源车渗透率对碳排放强度的影响

碳排放强度同样也与新能源车渗透率有关, 从图 3 中可看出, 当新能源车渗透率为 30%~50% 的时候, 碳排放强度大幅度下降。新能源渗透率在 55% 以上时, 碳排放总量减少的幅度继续增大。

实验结果发现, 轻量级城市智慧交通系统能有效降低碳排放, 同时有效提升交通运输效率, 与常规交通信号控制系统相比, 交通车辆行程时间均有 30% 以上的降低幅度。深入研究结果发现, 交通系统性能影响因素较多, 如车流量、道路条件、交通信号控制方式等, 因而, 应用过程要依据实际条件进行参数调节, 使智慧交通系统处于较好的工作状态。

4 结语

本文探讨了“双碳”目标驱动下的轻量级城市智慧交通系统构建路径与策略, 通过建立碳排放动态预测模型并结合仿真实验进行分析, 实验结果表明, 构建智慧交通系

统,对于减少城市交通领域的碳排放具有重要意义,碳排放动态预测模型在一定程度上可以预测城市交通领域的碳排放量,能够为智慧交通系统的优化和决策提供支持。从经济与社会发展角度而言,这不仅能推动能源结构的优化调整,还能促进相关绿色产业的发展,创造更多的就业机会。

参考文献:

[1] 尤瑛圻,陈凤,刘贵利. 基于 CiteSpace 的城市低碳社区研究分析[J]. 城市建筑, 2024,21(13):122-127.

[2] 董玲云. 智慧交通系统对交通系统安全的影响与应用[J]. 交通科技与管理. 2025,6(02):19-21.

[3] 单肖年,刘皓冰,张小丽等. 基于 MOVES 模型本地化的轻型车排放因子估计方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021,49(8):1135-1143+1201.

[4] 刘博,林建新,刘依妮等. 面向碳减排的城市交通微观仿真模型优化研究[J]. 系统仿真学报, 2024,36(4):860-872.

[5] 任安虎,李珊. 集成 Vissim-Python 和 Qt 的信控交叉口 DRL 配时仿真系统设计[J]. 计算机应用与软件, 2024 ,41 (11):53-59+122.

基金项目: 2025 年度河南省哲学社会科学教育强省研究项目“AI+ 区块链技术助推地方数字经济与‘双碳’目标融合研究”(2025JYQS0472); 河南省 2023 年度产教融合系列项目“以竞赛为载体的‘课赛融合’赋能多专业协同的创新实践教学模式研究”(教办高〔2024〕13 号)。

作者简介: 倪天伟(1981-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 副教授, 研究方向: 计算机软件、智能算法。