交通大数据在道路交通管控中的应用研究

张玲莉

云南省交通科学研究院有限公司交通工程养护分公司　云南　昆明　650011

摘　要：城市道路交通管控正经历从经验驱动向数据驱动的深刻转型。交通大数据的规模化汇聚与智能化处理为准确感知交通状态、科学制定管控策略提供了前所未有的信息资源。本文在剖析交通大数据体量庞大、类型多样、时效性强等特征的基础上，构建了涵盖数据采集、融合分析、决策应用三个层次的管控应用体系架构，系统探讨了交通大数据的核心应用领域，包括实时交通状态辨识与短时预测、信号配时动态优化、路网交通诱导与路径调度、异常事件快速响应以及公共交通运行协调等方面。针对当前应用中存在的数据质量参差不齐、处理时效不足、跨部门共享不畅及隐私安全风险等突出问题，提出了数据治理标准化、计算架构轻量化、协同机制制度化及隐私保护体系化等改进路径。研究旨在为城市交通管理者系统理解大数据应用逻辑、推动管控模式转型升级提供理论参考。

关键词：交通大数据；道路交通管控；数据驱动；智能交通系统；信号优化

引言

随着城市化加速及机动车保有量攀升，交通拥堵、事故频发和环境污染成为制约城市可持续发展的瓶颈。传统管控依赖固定检测器和人工经验，难以应对动态、随机的交通系统变化。物联网、移动通信及视频智能分析等技术的应用，实现了从稀疏抽样到全样覆盖、从单一维度到多维刻画的数据变革，为精细化、实时化管控奠定基础。然而，海量数据不等于有效管控能力，数据利用率低、分析不足及与措施脱节等问题依然突出。如何将大数据技术潜力转化为现实效能，是智能交通领域的核心命题。本文立足交通大数据特征与实际需求，系统梳理应用路径与关键问题，旨在为城市交通管控的数字化转型提供系统性认知框架，以解决当前挑战，提升管控效能。

1 交通大数据的特征体系与管控需求分析

1.1 交通大数据的主要来源与类型特征

道路交通管控涉及的大数据按采集方式分为固定感知、移动感知和公共信息三类。固定感知包括地磁线圈、微波雷达、超声波检测器和卡口视频等路侧设备，提供断面或路口的时间序列流量、速度及占有率数据。移动感知以浮动车 GPS 轨迹、手机信令和车辆电子标签为主，覆盖路网空间更广，能反映车辆连续运行轨迹。公共信息类涵盖气象数据、交通事件上报、社交媒体出行信息及导航实时路况。各数据源在时空分辨率、更新频率、覆盖范围和准确性上各有差异，呈现异构多源特征[1]。交通大数据核心可概括为“多源、海量、实时、异构、关联”——规模达 TB/PB 级，更新周期可达秒级甚至毫秒级，包含结构化、半结构化和非结构化数据，且不同源间存在复杂时空关联。

1.2 道路交通管控业务对大数据的核心需求

管控目标涵盖“安全、畅通、绿色、高效”，具体任务包括状态监测、信号控制、秩序管理、组织优化、事件处置和信息服务等。其大数据需求体现为三个层面：感知层面，需融合多源数据实现路网状态的全面、实时、精准刻画，弥补单一检测手段的局限；分析层面，需运用数据挖掘和机器学习揭示运行规律、识别异常、预测趋势，为决策提供量化支撑；决策层面，需将分析结果转化为可执行方案（如信号配时、可变车道、匝道调节、路径诱导），并评估预期效果。三个层面构成从数据到管控行动的完整价值链。

2 交通大数据驱动的管控体系架构

2.1 总体架构的分层设计

将交通大数据有效应用于道路交通管控，需要构建层次清晰、功能明确的体系架构。该架构自下而上可划分为数据接入与汇聚层、数据治理与存储层、分析计算与模型层、业务应用与展示层。数据接入层负责对接各类外场设备和外部数据源，通过标准化接口实现多源数据的实时采集和统一接入，并完成初步的校验和清洗。数据治理与存储层承担数据质量控制、时空对齐、数据融合以及分布式存储管理，解决数据不一致、时间漂移和冗余重复等问题。分析计算与模型层是架构的核心智能部分，部署各类交通状态估计、短时预测、异常检

测和优化决策算法，利用流计算和批计算引擎处理实时和离线分析任务。业务应用与展示层将分析结果以可视化仪表板、预警信息和方案推送等形式呈现给交通管理者，并通过指令下发通道连接至信号控制系统、信息发布系统等执行终端。各层之间通过标准数据接口和服务接口进行交互，保证架构的开放性和可扩展性。

2.2 关键技术支撑

多源数据融合技术是解决数据异质性的核心手段，通过基于时空特征的数据关联和校准，将不同来源、不同精度的交通参数统一到共同的时空参照系中，形成对路段和路口交通状态的一致性描述。实时流处理技术解决的是数据时效性问题，采用分布式消息队列和流计算框架实现对高吞吐量实时数据的低延迟处理，确保管控决策能够跟上交通态势的变化速度[2]。大数据存储与检索技术需要在兼顾历史数据归档和实时数据快速访问之间取得平衡，通常采用分布式文件系统与列式数据库的组合方案。人工智能算法则承担着从数据中提取深层规律的任务，包括基于深度学习的交通流预测、基于强化学习的信号控制策略优化等。这些技术的协同工作，使交通大数据从原始的“数字矿产”转化为可用的“信息能源”。

3 交通大数据的核心应用领域

3.1 路网交通状态的实时感知与短时预测

传统感知手段提供的路段流量和速度信息较为粗糙，无法全面反映排队长度、延误时间、行程时间可靠性等深层指标。交通大数据支持下的状态感知通过融合固定检测器断面数据与浮动车轨迹数据，能够在路段和路口尺度上重构交通流参数，并进一步推算路网的宏观基本图特征。在实时感知的基础上，短时交通预测是实现主动管控的关键能力。利用历史数据和实时数据构建时间序列模型或深度学习模型，可以预测未来 5 至 30 分钟内各路段的流量和速度变化趋势。预测结果直接服务于信号配时的预调整、可变车道方向的提前切换以及交通诱导信息的动态发布，使管控从“被动响应”走向“主动引导”。

3.2 信号配时的数据驱动优化

传统信号配时优化依赖于历史流量调查和离线仿真，更新周期长、适应性差。基于大数据的信号配时优化利用实时流量、排队长度和车辆延误数据，动态计算各相位的最佳绿灯时间和周期时长。通过在线数据反馈，信号配时方案能够根据交通需求的日变化、周变化乃至突发波动进行快速调整。更进一步，利用强化学习算法，信号控制系统能够在与交通环境持续交互的过程中自动学习最优控制策略，不再依赖预先定义的固定控制逻辑。数据驱动的信号控制不仅体现在单点路口，更延伸至干线协调和区域协同控制——通过分析上下游路口的流量关联强度，动态生成绿波带方案，提升主干道通行效率。

3.3 交通诱导与路网均衡管理

当路网局部发生严重拥堵或突发事件时，单纯的信号控制已难以缓解压力，需要借助交通诱导手段将部分交通流引导至替代路径。交通大数据的应用使得诱导决策更加精准和高效。基于实时路况和预测信息，系统可以计算不同路径的行程时间差异，并通过可变信息标志、导航软件推送等方式向出行者发布建议路线[3]。数据驱动诱导的核心优势在于能够动态跟踪诱导措施实施后的路网流量重分布效果，并据此修正诱导策略，避免因大量车辆同时转入替代路径而引发新的拥堵。在宏观层面，基于大数据分析的路网脆弱性识别和瓶颈定位，可以帮助交通管理者提前制定关键节点的疏导预案和路网流量均衡方案，从结构层面提升路网的整体抗扰动能力。

3.4 异常事件检测与应急响应

交通事故、车辆抛锚、恶劣天气等异常事件对交通流的干扰往往剧烈且突然，快速检测和响应是减少影响范围的关键。基于大数据的异常检测不再依赖人工视频巡检或电话报警，而是通过分析流量、速度和占有率等参数在时间维度和空间维度的突变特征，自动识别异常模式。当检测到事件发生后，系统结合实时路况和周边路网的剩余容量，快速生成应急管控方案，包括上游信号截流、事故区域车道封闭、周边路口分流以及救援车辆优先通行路径规划等。大数据支撑的应急响应显著缩短了从事件发生到管控措施生效的时间窗口，减少了二次事故和交通蔓延的风险。

3.5 公共交通优先通行管控

在优先发展公共交通的政策导向下，道路交通管控需要为公交车、有轨电车等大容量客运车辆提供通行便利。交通大数据使公交优先策略从固定时刻表驱动转向实时需求驱动。通过分析公交车辆的实时位置、载客量和晚点情况，系统可以动态判断是否给予优先通行信号，并综合权衡优先措施对社会车辆通行造成的影响[4]。在公交车接近路口时，系统通过延长当前相位绿灯或缩短红灯等待时间的方式使其快速通过，同时利用路网流量数据评估优先操作对交叉口整体通行能力的冲击，避免优先措施过度损害其他方向的通行权益。数据

驱动的公交优先控制使有限的道路资源在公平与效率之间获得更优的平衡。

4 应用推进中的关键问题与改进路径

4.1 数据质量保障与标准化治理

交通大数据在实际应用中面临数据缺失、噪声干扰、时空漂移和质量不一致等普遍问题。路边检测器故障率在高温或潮湿环境下较高，浮动车 GPS 在隧道和高架桥下信号易丢失，不同厂商设备的数据格式和精度标准各异。这些问题严重削弱了后续分析和决策的可信度。改进路径包括：建立数据质量实时监控平台，对接入数据的完整性、有效性和时效性进行自动评估和预警；制定面向交通管控的数据采集和交换标准，统一设备数据接口和通信协议；开发智能数据修复算法，利用时空相关性对缺失数据进行合理插补。标准化的数据治理是保证大数据应用效果不可绕过的前提环节。

4.2 实时计算能力与系统响应时效

道路交通管控对实时性具有刚性要求——信号配时调整和诱导信息发布必须在秒级至分钟级时间内完成，否则预测结果和决策方案将失去时效价值。然而，面对城市路网数千个检测点和数万辆浮动车产生的持续高速数据流，大规模实时计算的资源消耗非常可观。当前许多城市在处理海量数据时仍采用离线批处理模式，无法满足实时管控需求。解决的路径包括：采用流式计算框架实现数据的“到来即处理”，降低数据在存储和计算之间的搬运延迟；应用边缘计算将部分数据处理任务下沉至路口或路侧节点，减少云端传输和集中处理的压力；开发轻量级的预测和优化算法，在保证精度的前提下压缩计算耗时。

4.3 跨部门数据共享与业务协同

交通管控涉及公安交管、交通运输、城市管理、气象、应急等多个职能部门，所需数据也分散在这些部门的信息系统之中。当前部门间的数据壁垒严重制约了大数据应用的综合效能——交管部门掌握信号控制和视频监控数据，交通运输部门掌握公交车和出租车 GPS 数据，气象部门掌握天气信息，但融合分析和协同决策缺乏常态化的数据共享机制。打破这一困局需要从制度层面推动数据开放和共享规范的建设，建立跨部门交通数据共享清单和交换平台，明确数据使用权限和责任边界。同时，在业务层面建立联合研判和协同指挥机制，使大数据分析成果能够在多部门间无障碍流通和共同使用。

4.4 隐私保护与数据安全管理

交通大数据中包含大量与个人出行密切相关的信息，例如车牌号码、手机信令位置、车辆行驶轨迹等，这些数据如果被不当使用或泄露，将对个人隐私构成严重威胁。在推动数据应用的同时，必须构建覆盖数据全生命周期的隐私保护体系。在采集环节，对涉及个人身份的信息实施脱敏或匿名化处理；在传输和存储环节，采用加密技术防止数据被非法截取和窃取；在使用环节，实行最小必要原则和权限分级管理制度，确保分析人员仅能访问完成任务所需的最少数据。此外，还应引入差分隐私等前沿技术，在保证数据统计分析效用的同时提供可量化的隐私保护水平，使数据应用与隐私保护在技术层面实现协调。

结束语

交通大数据为道路交通管控从经验判断走向科学决策架设了坚实的技术桥梁。本文从数据特征、体系架构、应用领域和关键问题四个维度，对交通大数据在道路交通管控中的应用进行了系统研究。核心认识在于：数据本身并不直接产生管控效能，只有经过系统化的治理、分析与决策转化，才能释放其真正价值。在推进应用中，需要克服数据质量、实时计算、跨部门协同和隐私安全等多方面障碍，构建起技术先进、制度完善、安全可控的大数据管控应用生态。未来的城市交通管控将越来越依赖对海量交通数据的深刻理解和智能利用，坚持数据驱动、问题导向和系统推进，是道路交通管控走向现代化的必由之路。

参考文献

[1] 王殿海, 祁宏生, 陈喜群. 交通大数据在城市交通管理中的应用研究综述 [J]. 交通运输系统工程与信息,2022,22(3):1-13.

[2] 于雷, 宋国华, 刘娟. 基于多源数据融合的城市路网交通状态估计方法 [J]. 中国公路学报,2021,34(7):214-226.

[3] 杨晓光, 云美萍, 沈国江. 数据驱动的城市交通信号控制理论与方法 [J]. 自动化学报,2022,48(8):1895-1912.

[4] 关伟, 何蜀燕, 马继辉. 基于浮动车数据的城市道路交通运行评价技术 [J]. 交通运输工程学报,2021,21(4):1-14.