

互联网大数据技术在智慧交通发展中的应用

张博, 庞基敏, 章文嵩, 郅小虎, 刘向宏

北京滴滴无限科技发展有限公司, 北京 100193

摘要 随着互联网大数据技术的发展, 各种互联网+交通的新业态不断涌现, 行业内出现了大量丰富的数据资源。在交通强国建设背景下, 更好地利用互联网大数据技术为智慧交通发展赋能成为重要任务。针对传统信号控制系统优化频率低, 数据采集设备完备度差等缺陷, 采用网约车轨迹大数据技术研究智慧信号控制优化系统, 介绍了系统架构、特征和信号控制优化技术。该系统在济南、武汉和柳州等城市的实践结果表明, 在不依赖渠化及路口改造的前提下, 仅通过信号控制优化及软件升级的方式, 能有效地降低重点路段和路口的工作日早晚高峰平均延误时间和停车次数等关键指标, 其降幅可达 10%~20%, 能够有效缓解交通拥堵现状。

关键词 交通强国; 轨迹大数据; 智慧信号控制; 网约车

为促进大数据等先进信息技术与交通运输深度融合, 有力支撑交通强国建设, 2019年7月25日, 交通运输部印发《数字交通发展规划纲要》, 并提出到2025年交通运输大数据应用水平大幅提升, 出行信息服务全程覆盖, 行业治理和公共服务能力显著提升的发展目标。2019年9月19日, 中共中央、国务院正式印发《交通强国建设纲要》(以下简称《纲要》), 要求“大力发展智慧交通。推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合。”指明了中国智慧交通中长期的发展方向。同时, 《纲要》还提出到2035年,

基本建成交通强国, 城市交通拥堵基本缓解的发展目标。在此背景下, 借助交通大数据技术挖掘城市交通拥堵规律, 并通过物联网技术实现交通基础设施的智能化成为缓解城市交通拥堵的重要发展方向^[1]。

城市交通信号控制作为道路交通正常运行的重要保障, 其配时设置的合理性将对路口交通状况起到至关重要的作用^[2]。但是, 目前大部分传统信号控制方案每3~5年, 甚至更长时间才更新一次^[3], 其主要原因是缺少持续、可靠、高性价比的交通数据。分析交通信号控制系统的实际应用情况可知,

收稿日期: 2020-03-11; 修回日期: 2020-04-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFB1601005)

作者简介: 张博, 滴滴出行 CTO, 研究方向为智能交通、人机交互、人工智能, 电子信箱: liuwenzhi@didiglobal.com

引用格式: 张博, 庞基敏, 章文嵩, 等. 互联网大数据技术在智慧交通发展中的应用[J]. 科技导报, 2020, 38(9): 47-54; doi: 10.3981/j.issn.

1000-7857.2020.09.007

目前仍然依靠固定点检测设备和人工经验进行数据采集和配时优化,优化频率较低且固定点检测设备采集数据量不足,无法全景反映道路流量信息,同时无法精确识别每辆车的特性,控制效果受制于检测设备的完好度,具有设备成本偏高等局限性^[4]。

另一方面,网联车辆轨迹数据正越来越可靠,包括车联网、电子导航和滴滴等出行平台的数据。车辆轨迹数据可以用来缓解或消除基于基础设施的车辆检测器需求,并且可以用于建立基于车辆轨迹的信号控制系统。早期基于轨迹数据的研究聚焦于车辆行驶速度和行程时间的估量^[5-11]。在信号控制交叉口层面,大部分研究主要集中在车辆排队长度的估算方面^[12-16]。最近,随着车联网技术标准化和应用的大量发展,也出现了一部分基于车联网数据建立实时信号控制系统方面的研究^[17-21]。然而,在低渗透率,例如采集信息的样本车辆占总车辆的比例低于10%的情况下,如何利用车辆轨迹数据优化信号控制仍然是一个开放性的问题。

本文采用网约车轨迹大数据构建智慧交通信号控制系统,以连续、可靠、低成本的数据源,回避设备及配时数据维护问题,实现实时迭代优化,缓解交通拥堵,有效弥补上述传统信号控制缺陷。

1 基于网约车轨迹大数据的智慧交通信号控制系统

网约车平台在运营过程中积累了大量移动互联网出行数据,与常规浮动车数据相比,网约车平台可收集从乘客上车到抵达目的地全程的实时轨迹数据,包括行驶速度、排队长度等信息。采用滴滴出行平台的网约车轨迹数据,构建了智慧交通信号控制系统,如图1所示。该系统由上下2层4个子系统构成,其中底层支持系统包含智慧交通云平台和城市交通全景大数据平台,上层应用系统包含信号灯信息平台和信号控制优化系统。

1.1 系统架构

系统底层支持部分主要有2部分组成,分别是智慧交通云平台和城市交通全景大数据平台。智

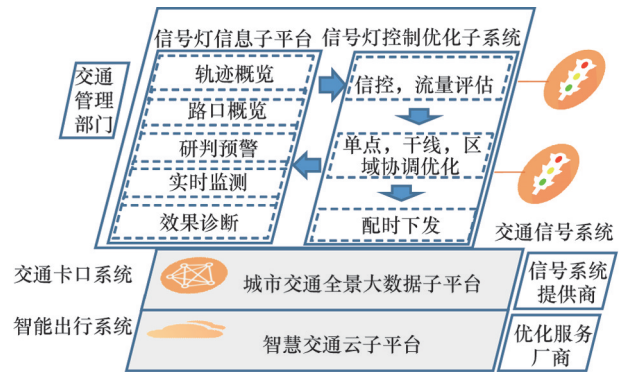


图1 基于网约车轨迹大数据的智慧交通信号控制系统

慧交通云平台作为整个系统的基础设施,为智慧信号控制系统提供信息存储、机器学习、云计算等云服务能力。智慧交通云平台基于网约车平台长期积累发展的机器学习技术,有为智慧信号控制系统提供分布式机器学习算法和大数据解决方案的能力,确保智慧信号控制系统具有高性能算法框架和运算环境。城市交通全景大数据平台是智慧信号控制系统的的核心,通过多维度数据整合,为跨地区、跨领域、跨部门的信息共享与协同管理提供数据基础。城市交通全景大数据平台由数据采集、数据校验、数据入库、数据加工、数据存储、数据挖掘、数据可视化、数据关联分析、与城市政务信息共享交换接口等部分组成。网约车轨迹数据是平台的主要数据来源,包括网约车、巡游车路径数据、定位数据和速度数据等。同时通过数据共享机制,与政府管理部门等共享城市交通数据,包括监控数据、交通事件、卡口信息、施工占道、交通管制和气象信息等。

上层应用系统主要由2部分组成,分别是信号灯信息平台和信号灯控制优化系统。信号灯信息平台提供智能信号灯的实时、可视化的信息呈现与展示、监控及诊断等功能,包括智慧信号灯实时监测、路口概览、研判预警、优化效果评估等可视化功能,生成路口延误图及时空图,辅助管理部门快速有效地分析信号灯运行效果,发现相关问题。信号控制优化系统是智慧信号灯系统的核心组成部分,实现对信号灯从单点、干线协调、区域优化多个维度的配时优化功能。信号控制优化系统利用网约

车行驶轨迹数据中停车及排队信息,结合信号灯信息估算实时全局流量和路口流量。信号控制优化系统利用智能交通云平台的数据挖掘和机器学习能力,可在传统交通流量模型和基础上持续闭环优化迭代,对信号灯参数进行全面的系统性优化。

1.2 系统特性

1) 数据独特性。智慧信号灯利用网约车轨迹数据进行信号灯配时优化,网约车轨迹数据与传统数据获取形式相比,覆盖区域更大,可扩展性更强。网约车作为营运车辆,可准确获取其载客营运过程中的轨迹数据,且由于网约车以轨迹来计费,因此数据精确性要求高,相比传统导航软件获取的数据更具有参考价值。

2) 平台服务性。智慧信号控制系统是同时面向多个对象的信号控制服务平台,具备平台的整合、交互、协同与赋能等特点。整合网约车轨迹数据和其他城市数据,面向城市交通管理部门提供可视化的信号控制方案与效果评估,协同满足管理部门、信控优化服务商及信号系统提供商等多方需求,利用数据、算法、互联网技术赋能各方,共同提高城市交通信号的控制水平。

3) 复制扩展性。智慧信号控制系统使用的信号配时优化方案可复制性强。系统所需数据主要为网约车轨迹数据,对路口数据采集设施设备水平要求较低,同时数据采集不影响正常交通运行,任意条件的路口均可布置。智慧信号控制系统自动化能力强,根据网约车轨迹数据可准确评估路口的全量交通数据,并利用系统云端计算能力快速优化迭代配时方案,无需额外投入即可使信号控制不断进化。

2 基于网约车轨迹大数据的智慧信号控制技术

利用网约车轨迹大数据提出了交通信号控制的闭环优化迭代智慧系统。这是实现信号灯自主控制、迭代优化的关键,其理论模型如图2所示,过程包括感知、评估、优化、实施4个环节,可细化为交通轨迹可视化分析、流量估计、参数优化、配时下

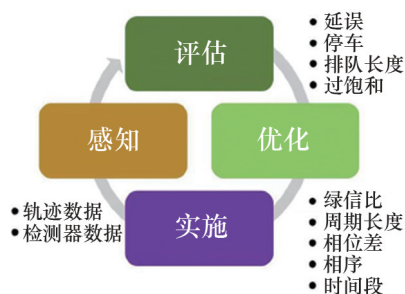


图2 闭环优化迭代体系

发后再返回到监测更新感知环节。

轨迹可视化分析是根据网约车轨迹数据生成时空图及延误图表,既可直观地显示各交叉口的具体交通情况,又为信号优化提供流量数据分析。使用已有的历史轨迹数据进行流量预估。参数优化可分为时间段优化、周期时长与相位差优化等2个步骤。在参数优化过程中,对于不饱和的路段,相位差和周期时长采用经典的组合方法优化;对于过饱和路段,扩大绿波不再是主要目标,而是最小化过饱和的影响。构建绿信比优化模型主要基于2个规则:1) 根据车辆延误识别过饱和度。当车辆延迟超过1个信号周期,大概率是相位过饱和所致,则需要针对绿信比进行优化,并优先考虑主干道和高流量相位;2) 当不是过饱和车辆延误,则优化目标就是平衡流量与通行能力的比率。配时优化下发,智慧信号灯系统为信号控制提供实时智能升级策略,使得信号控制策略优化的结果能够实时得到应用。监测更新,是对优化后的信号系统进行跟踪检查,检验优化效果,形成后感知环节,结合新的轨迹数据对系统形成反馈,触发自动持续更新,形成闭环。

2.1 基于网约车轨迹大数据的交叉口交通流量估计

交通流量是信号灯配时优化的关键因素之一。网约车平台由于运营需要,会按照一定时间间隔收集车辆位置及速度信息,相当于一种移动式交通信息采集器,且数据量巨大。以滴滴平台为例,每天积累车辆轨迹数据量高达106 TB。然而,即使网约车平台的轨迹数据具有广泛覆盖的优势,也并不能直接统计到交叉口的全部交通流量。

智慧信号控制系统在应用中提出基于轨迹数

据的流量评估方法,采用期望最大算法(expectation-maximization algorithm, EM)^[22]估计流量,通过构建时空轨迹图评价道路交叉口的信号协调表现。EM算法能够有效地解决数据稀疏情况下的参数估计,通过估计和优化的反复迭代,算法收敛性表现出色。例如,图3的轨迹表示车辆向下游方向行驶,轨迹中平坦的部分代表车辆停车加入路口排

队。图3(a)为网约车车辆原始轨迹,图3(b)为全部车辆的估计轨迹,包括网约车和普通车辆。通过对比估计数据与卡口所采集数据,网约车轨迹数据预估值准确率可达85%以上。与传统埋在道路基础设施里的检测器及卡口检测器等方法相比,该方法具有较好的持续性,数据来源可靠,且成本较低。

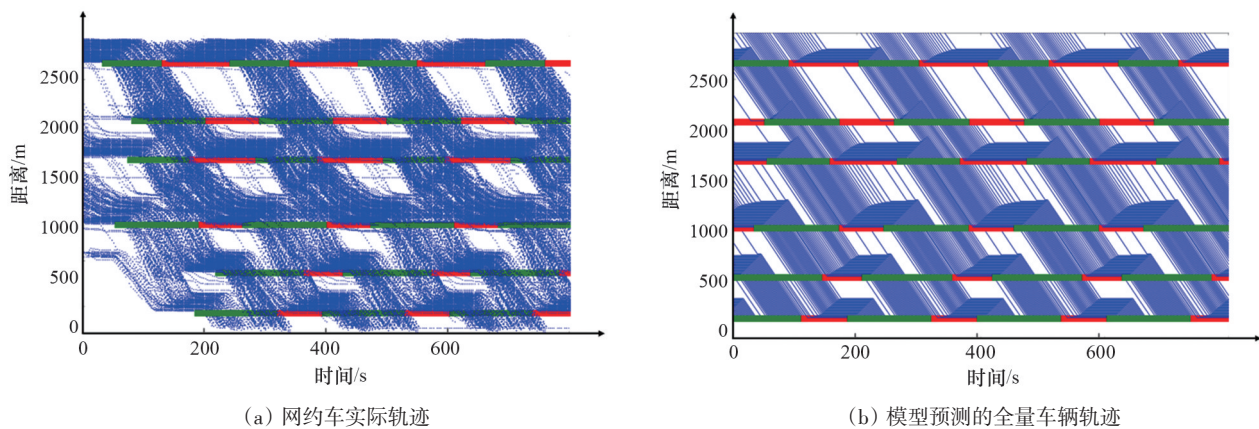


图3 车辆时空轨迹

2.2 干线交叉口信号控制协同优化

智慧信号控制系统使用基于网约车轨迹数据的干线协调相位差优化方法,实现干线信号控制的协调。该方法直接基于所获取的轨迹数据,对不同相位差情况下的轨迹变化及其停车次数进行预测,并以协调方向总停车次数最少为目标,建立干线相位差优化模型。

首先基于交通波理论,构建交叉口排队长度和停车次数随相位差改变而发生变化的计算模型。其次,在考虑交叉口原始参数特征的基础上,基于轨迹重构的方法^[23],预测不同相位差下的车辆行驶轨迹与对应的排队长度和停车次数。对于每个相位差,可以根据图4的流程计算该相位差对应的干线协调方向总停车次数。最后,考虑干线相邻交叉口的正反两方向协调,计算使协调方向总停车次数最少的相位差组合,作为干线最优相位差^[24]。

仿真和实际测试的结果表明,在不显著影响非协调方向车辆运行效率的基础上,该模型分别使仿真与实地测试例中的干线协调方向总停车次数降

低26.6%和13.9%,显著减少干线方向车辆停车。此外,该模型获得的最优相位差还能有效地降低干线协调方向的车辆延误与排队长度。

2.3 交通信息可视化分析

信号灯信息平台是智慧信号控制系统的直接应用界面,实现对信号配时方案的实时在线可视化跟踪分析评价,为后期交通管理优化提供数据依据。平台基于大数据技术对网约车覆盖的全量路口扫描,分析出畅通、缓行和拥堵路段的信号灯,并分析其拥堵状况与信号灯的关联。同时平台还可对已优化的信号灯提供实时分析功能,监控评估优化后的效果,为交通管理部门提供全周期智慧信号灯的信息管理与呈现。

1) 路口概览。可实现全城扫描、延误分级显示、拥堵停车排名、指标近1周趋势,如图5所示。

2) 效果评估。可实现路口、路段、干线、区域优化详情、数据下载、历史指标对比、城市优化报告生成。

3) 研判预警。可设置自定义预警策略,根据

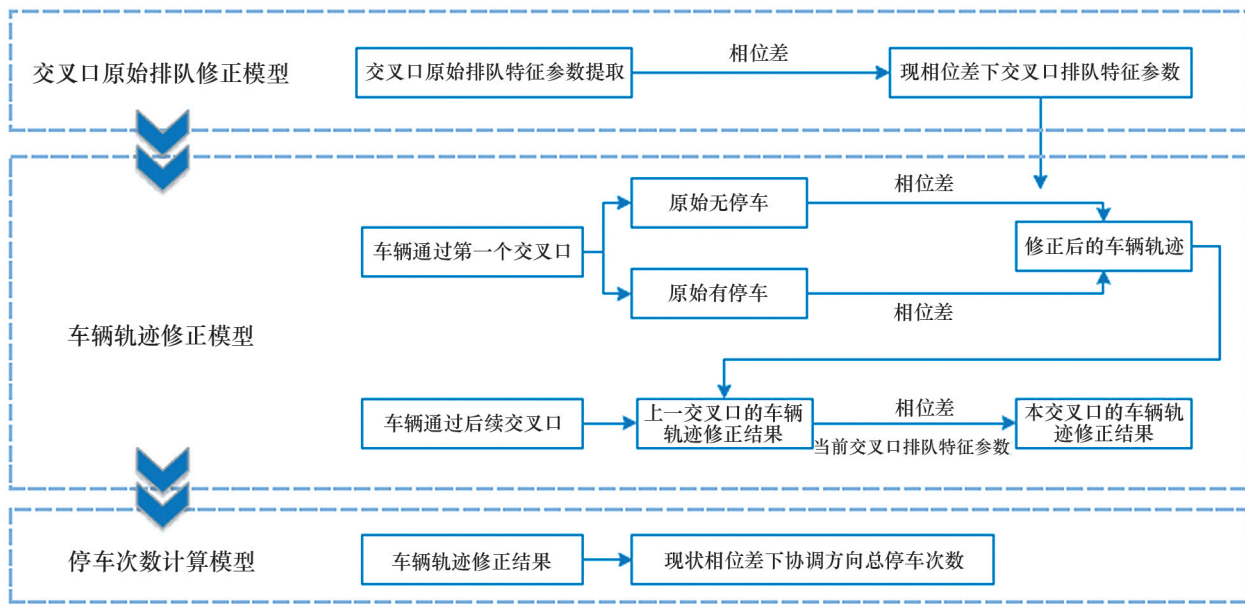


图4 停车次数模型流程

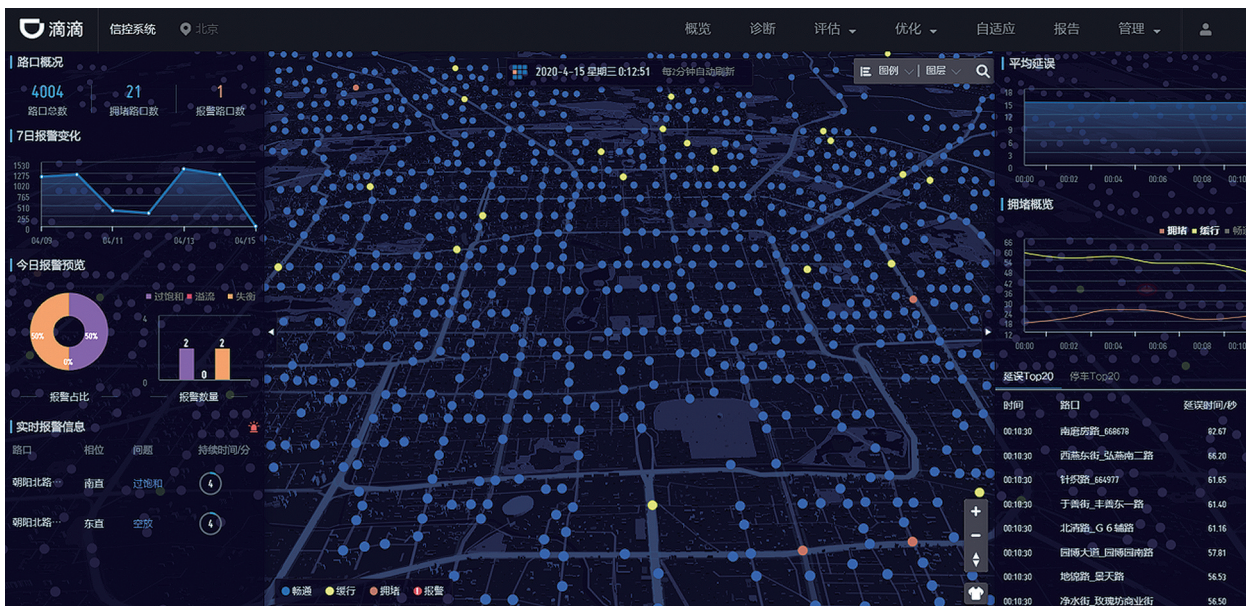


图5 路口信息概况

策略自动记录预警事件。

4) 数据融合。信息平台支持将网约车数据之外的更多检测器数据接入并实现数据融合,如图6所示。以交管部门常用的卡口为例,卡口地图概览实时显示全城卡口点位和设备状态,包括设备状态、总数量、故障数量、完好率(数据上传率),区分电子警察和卡口设备,设备状态(在线、离线),总数

量、故障数量、完好率(数据上传率),卡口、电子警察的捕获率和闯红灯有效率(如果有),实现电子警察和卡口设备不用图标标识区分;卡口流量数据查询实现按照卡口点位、方向、车道区分,每个卡口点位分车道不同粒度的流量统计查询,支持所有点位查询,故障点位返回错误。

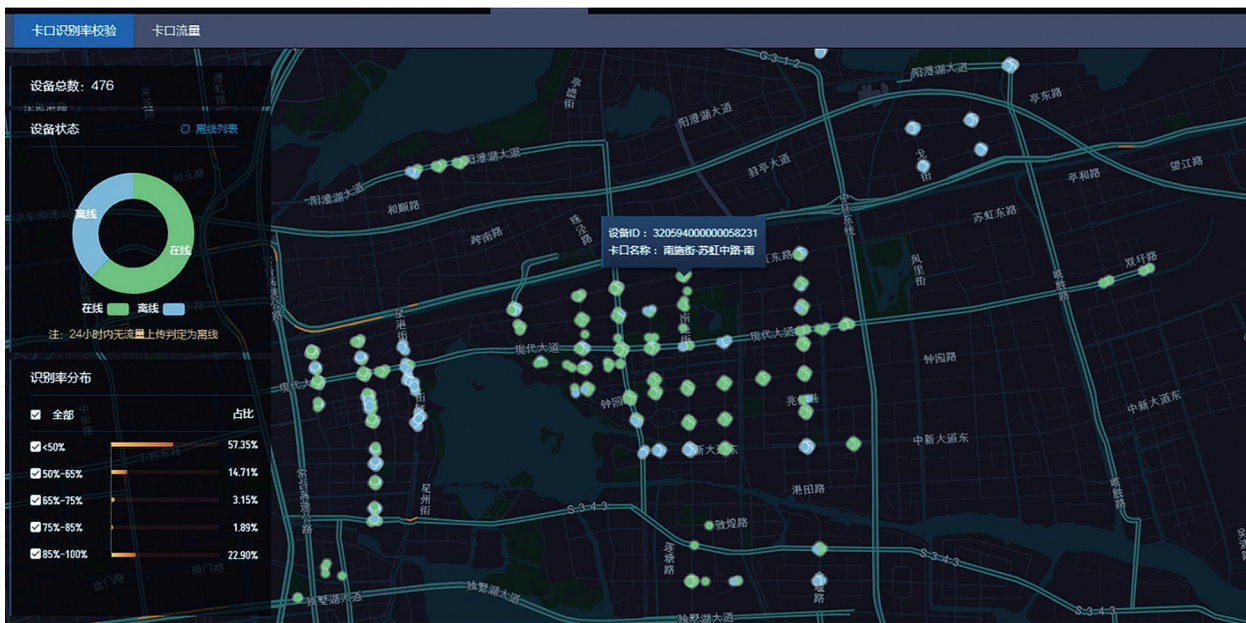


图6 卡口地图概览

3 应用实践

提出的基于网约车轨迹大数据的智慧信号控制系统分别在济南、武汉和柳州应用实践。

该系统优化了济南349套信号灯。经实测效果检验,济南经十路山大路到舜耕路路段,工作日早高峰平均延误时间下降10.73%,晚高峰平均延误时间下降10.94%。在停车次数方面,经十路的数据也有明显下降,工作日晚高峰停车次数下降8.7%,早高峰下降6.7%。

该系统已应用于武汉170套信号灯。经实测效果检验,武汉江发路园博大道段到发展一路段、京汉大道前进一路段到义和巷段的干线道路延迟指数有大幅下降。江发路早高峰各路口平均通行时间降低13.3%,各路口平均延误时间降低29.7%,干线方向整体延误时间降低23.4%。京汉大道平峰期各路口平均通行时间下降4.9%,各路口平均延误时间降低8.5%,干线方向整体延误时间降低5.8%。

该系统应用于柳州218个路口的信号灯,并通过轨迹数据的实时检测,以分钟级对信号灯进行动态优化。通过此试点,柳州在不依赖渠化及路口改造前提下,仅通过信号控制优化及软件升级,全城

拥堵减缓7.4%,车均停车次数下降4%,干线延误及停车次数下降达5%~25%,过饱和及多次停车比例下降37.5%。

4 结论

建设交通强国是以习近平同志为核心的党中央做出的重大战略部署,是新时代赋予交通行业的历史使命,为交通发展指明了方向。《交通强国建设纲要》提出“大力发展智慧交通,推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合。”面对当前历史机遇,交通科技企业正积极参与交通强国建设工作,充分运用大数据、云计算、人工智能等新技术推动智慧交通发展,支持交通管理部门进一步提升行业治理水平。本文从交通信号灯优化管理的角度出发,针对传统信号控制系统存在的优化频率低、数据采集设备完备度差等影响信号控制实效性的问题,采用网约车轨迹大数据技术研究智慧信号控制优化系统。通过在济南、武汉和柳州的应用实践表明,在不依赖渠化及路口改造前提下,仅通过信号控制优化及软件升级,重点路段、路口的工作日早、晚高峰平均延误时间,停车次数等都有了显著下降,有效地缓解了全

城交通拥堵。

网约车轨迹大数据在智慧交通领域拥有广阔的应用前景,未来还可扩展至智慧交通诱导屏、潮汐车道、拥堵治理、事故风险点排查、交通规划辅助等多个领域,通过构建城市交通大脑的方式深度参与城市整体交通管理,为交通强国建设提供有力的科技支撑。

致谢 丁能、王浩、思齐、吴国斌、梁洪波在论文写作过程中给予了帮助。

参考文献(References)

- [1] 杨琪, 刘冬梅. 交通运输大数据应用进展[J]. 科技导报, 2019, 37(6): 66-72.
- [2] 陆化普. 智能交通系统主要技术的发展[J]. 科技导报, 2019, 37(6): 27-35.
- [3] Sunkari S. The benefits of retiming traffic signals[J]. ITE Journal, 2004, 74(4): 26-29.
- [4] 刘义, 何均宏. 强化学习在城市交通信号灯控制方法中的应用[J]. 科技导报, 2019, 37(6): 84-90.
- [5] Herrera J C, Work D B, Herring R, et al. Evaluation of traffic data obtained via gps-enabled mobile phones: The mobile century field experiment[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2010, 18 (4): 568-583.
- [6] Chen M, Chien S I J. Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data: Link based versus path based[J]. Transportation Research Record, 2001, 1768(1): 157-161.
- [7] Long Cheu R, Xie C, Lee D H. Probe vehicle population and sample size for arterial speed estimation[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2002, 17 (1): 53-60.
- [8] Hellenga B R, Fu L. Reducing bias in probe-based arterial link travel time estimates[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002, 10(4): 257-273.
- [9] Nanthawichit C, Nakatsuji T, Suzuki H. Application of probe-vehicle data for real-time traffic-state estimation and short-term travel-time prediction on a freeway[J]. Transportation Research Record, 2003, 1855(1): 49-59.
- [10] Jenelius E, Koutsopoulos H N. Travel time estimation for urban road networks using low frequency probe vehicle data[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2013, 53: 64-81.
- [11] Zheng F, Van Zuylen H. Urban link travel time estimation based on sparse probe vehicle data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 31: 145-157.
- [12] Comert G. Simple analytical models for estimating the queue lengths from probe vehicles at traffic signals[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2013, 55: 59-74.
- [13] Comert G. Queue length estimation from probe vehicles at isolated intersections: Estimators for primary parameters[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 252(2): 502-521.
- [14] Hao P, Ban X, Whon Yu J. Kinematic equation-based vehicle queue location estimation method for signalized intersections using mobile sensor data[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2015, 19(3): 256-272.
- [15] Christofa E, Argote J, Skabardonis A. Arterial queue spillback detection and signal control based on connected vehicle technology[J]. Transportation Research Record, 2013, 2366(1): 61-70.
- [16] Li J Q, Zhou K, Shladover S E, et al. Estimating queue length under connected vehicle technology: Using probe vehicle, loop detector, and fused data[J]. Transportation Research Record, 2013, 2356(1): 17-22.
- [17] Milanés V, Villagra J, Godoy J, et al. An intelligent V2I-based traffic management system[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(1): 49-58.
- [18] He Q, Head K L, Ding J. Multi-modal traffic signal control with priority, signal actuation and coordination[J]. Transportation Research part C: Emerging Technologies, 2014, 46: 65-82.
- [19] Guler S I, Menendez M, Meier L. Using connected vehicle technology to improve the efficiency of intersections [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014, 46: 121-131.
- [20] Feng Y, Head K L, Khoshmaghani S, et al. A real-time adaptive signal control in a connected vehicle environment[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, 55: 460-473.
- [21] Goodall N J, Smith B L, Park B B. Microscopic estimation of freeway vehicle positions from the behavior of connected vehicles[J]. Journal of Intelligent Transporta-

- tion Systems, 2016, 20(1): 45–54.
- [22] Dempster A P, Laird N M, Rubin D B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 1977, 39(1): 1–22.
- [23] Zheng F, Jabari S E, Liu H X, et al. Traffic state estimation using stochastic Lagrangian dynamics[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2018, 115: 143–165.
- [24] Zheng J, Liu H, Misgen S. Fine-tuning time-of-day transitions for arterial traffic signals[J]. Transportation Research Record, 2015, 2488(1): 32–40.

Application of big data technology in the development of intelligent transportation

ZHANG Bo, PANG Jimin, ZHANG Wensong, QIE Xiaohu, LIU Xianghong

Beijing DiDi Infinity Technology and Development Co., Ltd., Beijing 100193, China

Abstract Various new types of Internet plus transportation are emerging and a large number of data resources have appeared. To build China's strength in transportation it is important to make better use of big data technology to promote intelligent transportation. Aiming at the shortcomings of the traditional signal control system such as low optimization frequency and poor integrity of data acquisition equipment this paper develops an intelligent signal control system using ride hailing vehicle trajectory data. The architecture and characteristics of the control system, as well as optimization techniques, are introduced. Field experiments in Jinan, Wuhan and Liuzhou, respectively, have demonstrated that without relying on channelization and intersection reconstruction, only through signal control optimization and software upgrades, the average delay times of morning and evening peak hours and vehicle stop times are decreased by 10%–20%, thus effectively alleviating traffic congestion across the whole city level.

Keywords country with strong transportation; trajectory data; intelligent signal control; ride hailing ●



(责任编辑 王志敏)