

DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2023102620240499

文章编号: 1674-599X(2024)02-0146-08

引用格式: 帅庆珍, 张家铭, 周凤. 基于低频采集数据的城市道路车辆轨迹重构[J]. 交通科学与工程, 2024, 40(2): 146-153.

Citation: SHUAI Qingzhen, ZHANG Jiaming, ZHOU Feng. Vehicle trajectory reconstruction of urban roads based on low-frequency data collection [J]. J Transp Sci Eng, 2024, 40(2): 146-153.

基于低频采集数据的城市道路车辆轨迹重构

帅庆珍¹, 张家铭², 周凤³

(1. 重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210018;

3. 长江大学 生命科学学院, 湖北 荆州 434025)

摘 要: 在进行城市道路交通流量调查及部分重要路网节点、交叉口交通数据采集时, 采用低频数据收集方式会使车辆轨迹匹配精度低、交通流量数据误差大。通过研究隐式马尔可夫理论及最小费用最大流模型, 提出一种车辆轨迹重构方法。该方法利用多源数据融合技术以及地理信息定位匹配技术, 对无检测器路段缺失的各项交通基础数据进行合理的演进推算, 为车辆轨迹重构研究提供重要的数据支撑。利用成都市某区域出租车的高频轨迹点位数据集进行验证。结果表明, 利用车辆低频轨迹点位进行轨迹重构的完全覆盖率达到了89.4%, 验证了所提出的车辆轨迹重构方法的有效性及其可行性。

关键词: 车辆低频轨迹数据集; 最小费用最大流; 多源数据融合; 轨迹重构

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

Vehicle trajectory reconstruction of urban roads based on low-frequency data collection

SHUAI Qingzhen¹, ZHANG Jiaming², ZHOU Feng³

(1. College of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. JSTI Group, Nanjing 210018, China; 3. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

abstract: Focused on low accuracy in vehicle trajectory matching and traffic flow data errors, when low-frequency collection approach was used during the survey of urban road traffic flow and traffic data collection of particularly at critical road network nodes. A vehicle trajectory reconstruction method was proposed based on the study of the hidden Markov theory and the minimum cost maximum flow model. Using multi-source data fusion technology and geographic information positioning matching technology, the missing traffic basic data of the non-detector road section were reasonably estimated to provide important data support for the research of vehicle trajectory reconstruction. Then, a high-frequency trajectory point dataset of taxi vehicles in a specific region of Chengdu City was employed to validate the effectiveness of this method. The results demonstrate that the complete coverage rate of trajectory reconstruction using low-frequency vehicle trajectory points reaches 89.4%, confirming the method's efficacy and practicality.

Key words: vehicle low-frequency trajectory dataset; minimum cost maximum flow; multi-source data fusion; trajectory reconstruction

收稿日期: 2023-10-26

基金项目: 重庆市科学技术协会项目(2018KXKT06)

通信作者: 帅庆珍(1999—), 男, 硕士生, 主要从事城市交通拥堵治理方面的研究工作。E-mail: 2824597410@qq.com

投稿网址: <https://jtkxygc.csust.edu.cn/jtkxygc/home>

随着物联网技术和GPS定位技术的发展,交通行业积累了大量的基于位置服务的车辆轨迹数据,例如出租车GPS数据、网约车GPS数据等^[1]。大量的车辆出行产生了丰富的出行轨迹数据集,在这些数据集中含有丰富的时间和空间信息,这些信息在车辆出行目的地分析、城市交通规划、城市交通拥堵治理等方面都有广泛的应用^[2]。但在实际情况中,由于采集环境与财政资源的限制,完整的车辆轨迹数据难以获取。针对这种情况,学者们利用已有的车辆轨迹数据来推测或估算车辆的时空坐标信息。PFOSER等^[3]利用GPS等相关技术采集离散时间内的车辆轨迹样本数据,然后利用线性插值法得到连续时间内车辆完整的运动轨迹坐标信息,但重构的车辆轨迹在采样点处不平滑,以至于重构结果的光滑性不佳。MEHRAN等^[4]通过融合浮动车数据和固定检测器数据,设计了一种短期内预测车辆轨迹的方法,并利用已有的轨迹数据对该方法进行了验证。丁军等^[5]采用局部多项式插值的方法解决了车辆部分数据的缺失问题,但当其采用高阶多项式时,车辆轨迹曲线容易出现波动,从而影响缺失轨迹段重构的精确性。陈志军等^[6]通过改进三次Hermite插值法对参数进行了优化,结果表明,该方法在算法复杂度和插值精确度等方面效果较好。YU等^[7]为了解决分段线性假设导致的轨迹曲线不光滑的问题,采用低阶样条曲线来描述车辆的运动轨迹,并与用三次样条插值法以及分段直线内插法

重构的车辆轨迹进行了比较,结果表明,曲线模型所表达的轨迹具有更好的精确性和平滑性。

上述车辆轨迹重构方法基本上都利用了插值思想,但在动态交通状况下车辆轨迹重构精度较低,并受检测器所采集的交通基础数据的频率影响较大^[8]。对此,本文提出了基于低频轨迹数据的车辆轨迹重构方法,并通过隐式马尔可夫理论及最小费用最大流模型,利用低频轨迹数据集对车辆轨迹进行重构,从而为交通状态参数的估计及交通流量演化规律的分析提供支撑。图1所示为本文研究的技术路线。

1 数据准备及预处理

1.1 数据准备

本文所选用的试验数据来自四川省成都市的出租车轨迹数据及路网数据,主要包括滴滴公司发布的2018年成都市全年的交通运行指数数据和稀疏化的骨干路网数据,及来自公开地图(OSM)的成都市全城道路网地图数据(图2)。由于本文对数据的完整性和精确性要求比较高,故下文将对原始路网数据进行数据约整,以此将研究对象的数据样式进行初步变换。例如,以出租车轨迹点位数据集为基础,模拟现实中常见的低频出租车轨迹数据集,然后将多种来源的数据集通过某一特征进行结合,形成具有全属性的综合数据集,这就是多源数据融合技术^[9]。研究数据间的共有特性已成为数据融合

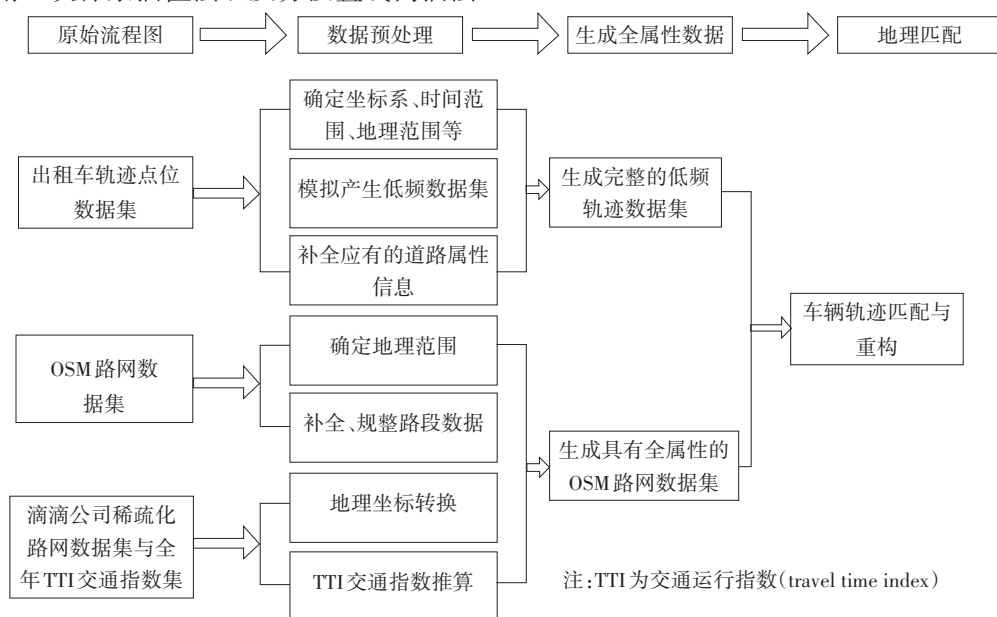


图1 技术路线

Fig. 1 Technical route

技术的重点内容。通过研究分析,地理位置坐标信息是上述各数据集共有的特性。尽管数据资料的参考坐标系和数据样式各不相同,但它们都具有显著的地理信息坐标特征,因此,可参考这些数据资料共有的特征进行路网地图与相关路网辅助属性信息的匹配及轨迹重构。

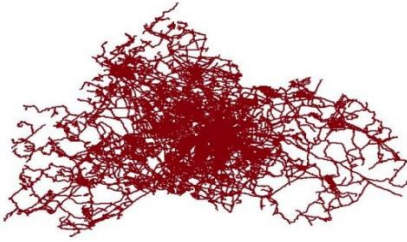


图2 成都市OSM

Fig. 2 The OSM of Chengdu City

1.2 车辆轨迹点位数据集的预处理

在交通行业中,当车辆轨迹数据的采集频率低于20 s/次时,为高频采集;当采集频率不低于20 s/次时,为低频采集。目前,为节约采集费用,降低存储和维护成本,我国大部分地区采集车辆轨迹数据的频率基本上为30 s/次左右,属于低频采集^[10]。低频轨迹数据集在采集和存储方面相较于高频数据集更有优势,但在精确度上存在不足,例如,当使用低频数据集时,车辆的转移过程完全不可知,同时研究者对车辆短时间内行驶轨迹的判断也会产生偏差。通过对滴滴公司提供的超高频数据集进行稀疏化、低频化处理,模拟出低频数据集,并补全道路的辅助属性信息,最终得到试验研究数据集。图3所示为模拟低频轨迹数据集的流程。

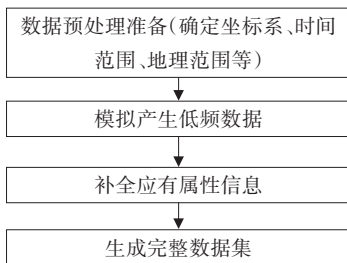


图3 低频轨迹数据产生流程

Fig. 3 Generation process of low-frequency trajectory dataset

为了进行地图匹配,需要提前将车辆轨迹数据集的GCJ-02坐标系转换成WGS84坐标系。本文采用了一种精度良好的匹配转换方法^[11-13],见式(1)~(2)。

$$N_{ew\lg} = L_{ng} - \frac{180T_{\lg}(L_{ng} - 105, L_{at} - 35)}{a} \sqrt{1 - e_e \sin^2\left(\frac{L_{at}\pi}{180}\right)} \cos \frac{L_{at}\pi}{180} \quad (1)$$

$$N_{ewlat} = L_{at} - \frac{180T_{lat}(L_{ng} - 105, L_{at} - 35)}{a(1 - e_e)\pi} \sqrt{1 - e_e \sin^2\left(\frac{L_{at}\pi}{180}\right)} [1 - e_e \sin^2\left(\frac{L_{at}\pi}{180}\right)] \quad (2)$$

其中,

$$\begin{aligned} T_{\lg}(L_{ng}, L_{at}) = & 300 + L_{ng} + 2L_{at} + 0.1L_{ng}^2 + \\ & 0.1L_{at} \times L_{ng} + 0.1\sqrt{L_{ng}} + \frac{40}{3} \times [\sin(6L_{ng}\pi) + \\ & \sin(2L_{ng}\pi) + \sin(L_{ng}\pi) + 20\sin\left(\frac{L_{ng}\pi}{3}\right) + \\ & 75\sin\left(\frac{L_{ng}\pi}{12}\right) + 150\sin\left(\frac{L_{ng}\pi}{30}\right)] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} T_{lat}(L_{ng}, L_{at}) = & -100 + 2L_{ng} + 3L_{at} + 0.2L_{at}^2 + \\ & 0.1L_{at} \times L_{ng} + 0.2\sqrt{L_{ng}} + \frac{40}{3} \times [\sin(6L_{ng}\pi) + \\ & \sin(2L_{ng}\pi) + \sin(L_{at}\pi) + 20\sin\left(\frac{L_{at}\pi}{3}\right) + \\ & 80\sin\left(\frac{L_{at}\pi}{12}\right) + 160\sin\left(\frac{L_{at}\pi}{30}\right)] \end{aligned} \quad (4)$$

式中: N_{ewlat} 为轨迹点在WGS84坐标系中的纬度; N_{ewlg} 为轨迹点在WGS84坐标系中的经度; L_{ng} 为轨迹点在GCJ-02坐标系中的经度; L_{at} 为轨迹点在GCJ-02坐标系中的纬度; a 为地心半轴长; e_e 为地球偏心率的平方。

出于对数据样式的统一性及匹配融合效果的要求,本文最终选择了WGS84坐标系中的EPSG:4326地理坐标系,并确定了所研究地理范围的4个角的坐标,即:

$$\begin{aligned} & [126.223\ 128, 45.785\ 000], \\ & [126.223\ 128, 45.763\ 400], \\ & [126.162\ 239, 45.763\ 400], \\ & [126.162\ 239, 45.785\ 000]. \end{aligned}$$

首先,将所有补充信息填入自定编号的轨迹文档中,按照编号为第一序列,经纬度为第二序列的规则将所有数据进行排列。然后,通过增加低频轨迹点的速度、位置、方向角等辅助性数据,补全数据集的辅助属性信息。经过上述坐标系的转换,地理范围的确定,及辅助属性信息的筛选,最终得到了

完整的车辆轨迹路线,共98 764条,及车辆轨迹点位数据,共566 873个。

1.3 全局路网数据处理

进行路网数据预处理主要有3个步骤:

1) 确定路网地理范围:可以利用Python数据分析软件的第三方地理位置数据分析库GeoPandas获得路网数据,路网范围与上述地理范围相同;通过GeoPandas进行分析、筛选路网轨迹点,提取研究范围内车辆轨迹点位路网信息数据。

2) 完善、补全路网:通过对上述操作后的路网轨迹点数据进行整理发现,所选范围内的路网轨迹点数据保留得较完整,而对于所选范围边界上的轨迹点,其数据缺失较多,可通过适当保留以及模拟、补充轨迹点等方式进行完善、补全。

3) 生成具有全属性的轨迹点位数据集:通过补全轨迹点的辅助属性信息,并重新匹配路网,最终得到了一个完整的路网数据信息文档。

通过上述步骤,将路网数据进行归纳、整理及完善,最后通过控制地理范围,筛选出2 035个路网轨迹点数据,利用其属性信息得到拓扑化的路网图,如图4所示。



图4 选定的路网区域

Fig. 4 Selected road network area

1.4 稀疏化路网数据预处理

稀疏化路网就是在不影响道路总体连贯性和安全性的要求下,降低路网复杂度,简化路网支路,从而达到稀疏化路网的目的。首先,将所有的轨迹点坐标转换为EPSG:4326坐标;然后,根据选定的研究范围获取稀疏化路网,如图5所示。

接下来,将稀疏化后的路网轨迹点重叠到OSM开源地图上的相应位置,并采取就近原则进行匹配。最后,将OSM路网和稀疏化路网的坐标系转换

成统一坐标系,并进行绘图(图6)。



图5 稀疏化路网

Fig. 5 Sparsing road network



图6 相同坐标系下的两种路网

Fig. 6 The two road networks in the same coordinate

交通运行指数是衡量城市拥堵程度的重要指标,反映了出行者实际出行时间和自由流状态下出行时间之间的关系^[14]。根据本文研究所需,决定采用交通运行指数来推算道路的自由流速度,补全道路的辅助属性信息,其中,交通运行指数=自由流速度/实际流速度。

2 车辆轨迹重构

2.1 车辆轨迹点位匹配路段的确定

由于地理精度及匹配不对应等问题,车辆轨迹点位的选取及候选路段的匹配都存在一定的误差。为此,本文在以出行轨迹点为中心、25 m为半径的圆内筛选候选路段,并利用Python进行缓冲区分析,筛选出与轨迹点相匹配的路段,最后将筛选出的OSM地图路段数据集作为候选匹配路段数据集。

2.2 确定并选择匹配路段

在确定了一定范围内的预选匹配路段后,便可用方向角判定法来锁定判断。匹配原则和方法为:

1) 当路网候选路段中仅有一条路段时,直接进行匹配操作。

2) 如果路网中车辆轨迹点位的瞬时航向角已确定,并且候选路段有两条或两条以上时,则选择轨迹点方向为顺向的路段进行匹配,此处的“顺向”指两轨迹点的方向角度差在 90° 以内^[15]。

2.3 点位最终匹配与轨迹重构

同时进行车辆轨迹点位匹配及车辆轨迹重构,不影响匹配精度和工作效率。本文用隐式马尔可夫模型图论中的最小费用最大流算法进行轨迹重构,结果如图7所示。

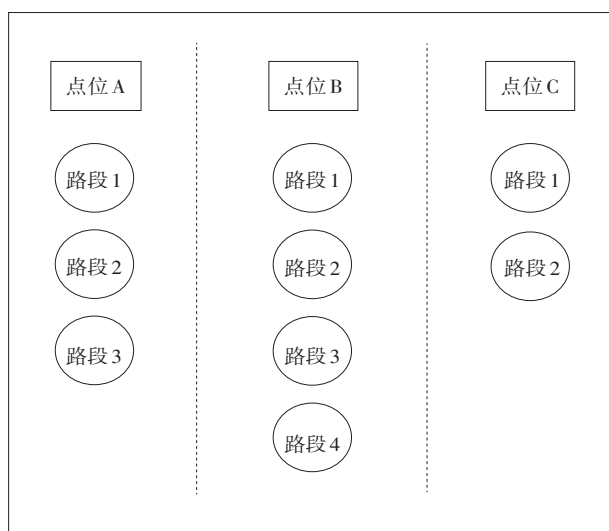


图7 路线组合示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the route combination

唐克双等^[16]利用车辆轨迹点与地理位置、轨迹点与路网、轨迹点与路段以及路段与路网之间的关系进行了车辆轨迹的重构。该研究忽略了重要的时间性因素,即时间可靠度。为此,本文选用路段的一些基础属性数据进行研究,如路段的最高限速、车辆在自由流状态下的速度等。研究结果发现,利用由滴滴公司提供的成都市2018年车辆出行轨迹点位信息演化得到的交通运行指数,可增加车辆轨迹重构的可靠度。

因此,本文将图论中的最小费用重新理解为最小垂直距离,而最大流则理解为最大时间可靠度。

1) 最小垂直距离,即等待匹配的路段与轨迹点

之间的垂直距离。当一组车辆轨迹点与一组路段相匹配时,记录每个轨迹点位与匹配路段的垂直距离并累加,每组轨迹点位的累计垂直距离之和可反映车辆轨迹点位的匹配精度。

2) 最大时间可靠度,即车辆依次通过两个轨迹点的时间间隔,与车辆在匹配路段之间实际运行的时间间隔之差。将此参数的倒数作为车辆轨迹点匹配的最大时间可靠度,其中,车辆在匹配路段之间实际运行的时间间隔需通过相应路段的自由流速度与实际距离得到,即:

$$\mu = \frac{1}{\Delta t} \quad (5)$$

式中: μ 为最大时间可靠度, s ; Δt 为时间间隔, s 。

$$\Delta t = |\Delta t_1 - \Delta t_2 - \Delta t_3| \quad (6)$$

式中: Δt_1 、 Δt_2 分别为车辆通过两个轨迹点位的理想时间间隔和实际时间间隔, s ; Δt_3 为修正时间间隔, s 。 Δt_3 对实际情况进行了修正,以提高轨迹重构的精确度。

对于轨迹点位,可选择的路径数量较多,必须准确选择其中可靠度最大的路径进行匹配,以方便轨迹重构,保证重构的精确度。在选择最优路径时,一般会出现以下3种情况:

1) 无路径进行相应的匹配,表明在第一次匹配中与轨迹点相连的路段周围并无与之相匹配的路径,若出现这种情况,只需继续匹配即可;

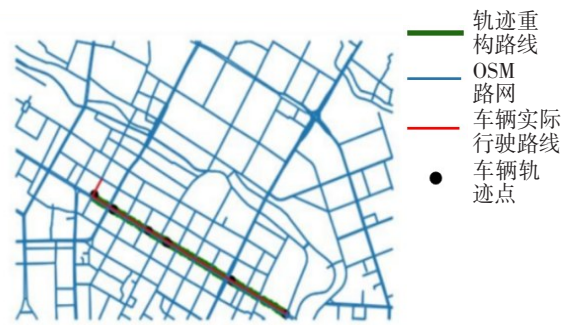
2) 在轨迹点连接的路段周围仅有一条路径可匹配,表明这条唯一的路径可能是路段的最优路径;

3) 与轨迹点相连的路段周围有不只一条路径可以进行匹配,此时需要记录这些路径的辅助属性信息,并通过最大时间可靠度选择最优的路径进行匹配。如果有多条路径符合要求,则需分别记录这些路径的相关属性信息,并求出各个路径的最大时间可靠度。

通过上述方法可得到全数据集中与轨迹点相匹配的路径的集合。使用最小垂直距离及最大时间可靠度筛选出匹配最佳的唯一路径,将与车辆轨迹点相匹配的路径绘制于OSM路网中,并将确定的车辆轨迹路段标示为最终的车辆低频轨迹点的重构轨迹,如图8所示。



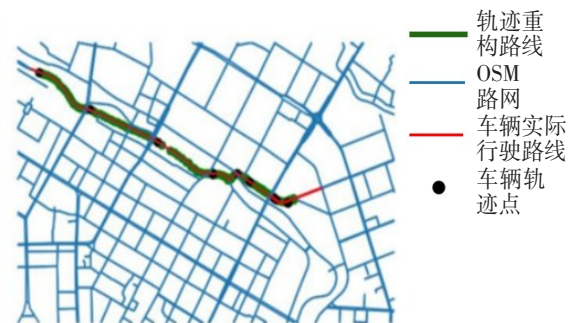
(a) 效果图(一)



(b) 效果图(二)



(c) 效果图(三)



(d) 效果图(四)

图8 车辆轨迹重构效果图

Fig. 8 Vehicle trajectory reconstruction effect diagram

3 试验结果与讨论

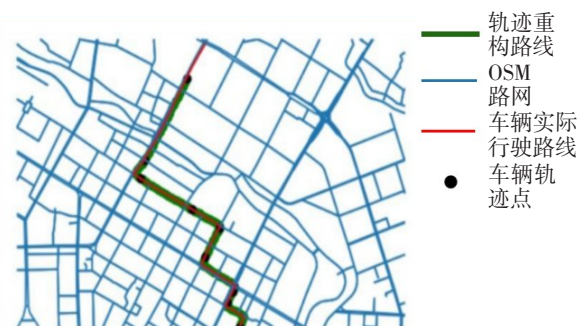
从上述的试验结果来看,本文提出的利用车辆低频轨迹点位数据重构车辆的历史行车轨迹的方法较为可行。将原高频轨迹点位数据与稀疏化的低频轨迹点位数据绘制在同一图中,以验证本文所提方法的可行性,如图9所示。



(a) 效果图(一)



(b) 效果图(二)



(c) 效果图(三)

图9 高频与低频车辆轨迹点重构效果图

Fig. 9 Track point reconstruction effect diagram of high-frequency and low-frequency vehicles

经过测试与计算,经最小费用最大流方法重构的车辆轨迹路径数量共有 58 675 条。

在试验过程中,误差或者所使用数据分析工具自身的不足会使得用某部分低频轨迹点位重构的车辆路径与实际不符,进而出现极小部分车辆原轨迹点位没有被覆盖的情况。因此,只要车辆点位覆盖率在 95% 及以上时,便可视为 100% 全覆盖。由图 10 可知,用稀疏化的低频轨迹数据集进行车辆轨迹重构的点位覆盖率占比为 89.40%,由此可认为本文所提出的轨迹重构方法对车辆历史轨迹重构的效果较好。

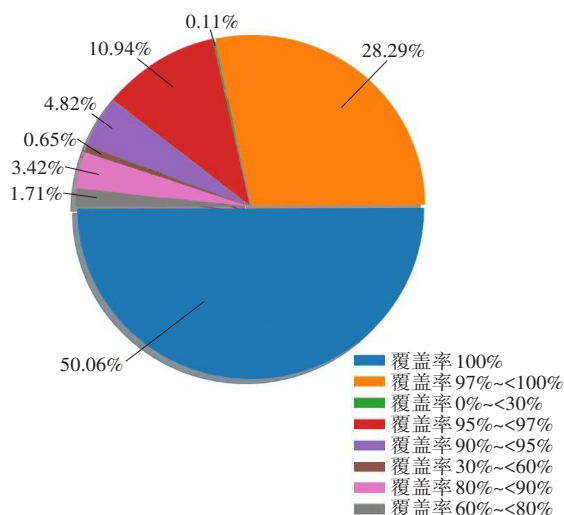


图 10 高频与低频车辆轨迹点位重构覆盖率

Fig. 10 The coverage rate of trajectory point reconstruction of high-frequency and low-frequency vehicles

4 结论与展望

1) 通过稀疏化高频轨迹数据集,提出一种较为简单的方法重构车辆的历史轨迹行驶路线,可为局部区域的流量测算及车辆的便捷出行提供参考,也可为城市智能交通发展和路网线路规划提供一定的决策依据。

2) 利用低频轨迹数据集进行车辆历史轨迹重构,可减少有关部门在道路交通流量调查时耗费的人力、财力,也可为交通信号的联合控制及城市交通信号区域协调控制提供必要的数据基础。

本文在研究过程中也发现了一些不足,希望在后续的研究中可从以下几个方面进行改进:所采用的方法存在匹配效率不高的问题,在车辆轨迹点位

的路段匹配及重构过程中,最大时间可靠度的计算方法需要进一步改进;所提方法的应用场景较为单一,缺少在各种复杂道路场景中的验证,如车辆定位短时间中断、交通拥堵等给车辆轨迹点位数据采集带来干扰的场景。

参考文献(References):

- [1] 吴艳平, 李小龙. 一种基于平面交叉口的浮动车数据轨迹重构方法[J]. 江西科学, 2021, 39(1): 160-165. DOI: 10.13990/j.issn1001-3679.2021.01.030.
WU Yanping, LI Xiaolong. A method of trajectory reconstruction of floating car data based on intersection [J]. Jiangxi Science, 2021, 39(1): 160-165. DOI: 10.13990/j.issn1001-3679.2021.01.030.
- [2] 高强, 张凤荔, 王瑞锦, 等. 轨迹大数据: 数据处理关键技术研究综述[J]. 软件学报, 2017, 28(4): 959-992. DOI: 10.13328/j.cnki.jos.005143.
GAO Qiang, ZHANG Fengli, WANG Ruijin, et al. Trajectory big data: a review of key technologies in data processing [J]. Journal of Software, 2017, 28(4): 959-992. DOI: 10.13328/j.cnki.jos.005143.
- [3] PFOSE D, JENSEN C S, THEODORIDIS Y. Novel approaches to the indexing of moving object trajectories [C]//Proceedings of the 26th VLDB Conference. Cairo: CiteSeer, 2000: 395-406.
- [4] MEHRAN B, KUWAHARA M. Fusion of probe and fixed sensor data for short-term traffic prediction in urban signalized arterials [J]. International Journal of Urban Sciences, 2013, 17(2): 163-183. DOI: 10.1080/12265934.2013.776291.
- [5] 丁军, 张佐, 陈洪昕, 等. 车辆轨迹数据的若干处理方法研究[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(5): 10-14, 35. DOI: 10.3963/j.ISSN1674-4861.2011.05.003.
DING Jun, ZHANG Zuo, CHEN Hongxin, et al. Methods to process vehicle trajectory data [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2011, 29(5): 10-14, 35. DOI: 10.3963/j.ISSN1674-4861.2011.05.003.
- [6] 陈志军, 吴超仲, 吕能超, 等. 基于改进三次 Hermite 插值的车辆时空轨迹重构研究[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(6): 43-46.
CHEN Zhijun, WU Chaozhong, LYU Nengchao, et al. Vehicle trajectory reconstruction based on improved cubic Hermite interpolation [J]. Journal of Transport

- Information and Safety, 2013, 31(6): 43-46.
- [7] YU B, KIM S H, BAILEY T, et al. Curve-based representation of moving object trajectories [C]// Proceedings of International Database Engineering and Applications Symposium. Coimbra: IEEE, 2004: 419-425. DOI: 10.1109/IDEAS.2004.1319817.
- [8] 邢皓, 谭世琦, 张佐, 等. 车辆轨迹重构方法综述[J]. 交通工程, 2019, 19(4): 20-28. DOI: 10.13986/j.cnki.jote.2019.04.004.
- XING Hao, TAN Shiqi, ZHANG Zuo, et al. A review of vehicle trajectory reconstruction methods[J]. Journal of Transportation Engineering, 2019, 19(4): 20-28. DOI: 10.13986/j.cnki.jote.2019.04.004.
- [9] 任刚, 徐泓基, 诸赛. 基于浮动车卫星定位数据的轨迹重构方法: 中国, CN202210899716.4[P]. 2023-11-08.
- REN Gang, XU Hongji, ZHU Sai. A trajectory reconstruction method based on the floating vehicle satellite positioning data: China, CN202210899716.4 [P]. 2023-11-08.
- [10] 余志, 廖琼华, 何兆成. 基于车辆身份感知数据的路段轨迹重构方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(4): 87-93. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2019.04.013.
- YU Zhi, LIAO Qionghua, HE Zhaocheng. Vehicle trajectory reconstruction in signalized-link using vehicle identification data[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(4): 87-93. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2019.04.013.
- [11] 康路, 闫浩文, 张黎明. 电子地图间的实时坐标转换系统[J]. 遥感信息, 2018, 33(2): 122-126. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2018.02.019.
- KANG Lu, YAN Haowen, ZHANG Liming. Coordinate conversion system among various electronic maps [J]. Remote Sensing Information, 2018, 33(2): 122-126. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2018.02.019.
- [12] 王忠礼, 刘德利. 测绘领域中常用坐标系统及其转换计算[J]. 吉林建筑大学学报, 2021, 38(5): 34-38. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0185.2021.05.006.
- WANG Zhongli, LIU Deli. The commonly used earth coordinate system and its transformation calculation in surveying and mapping fields[J]. Journal of Jilin Jianzhu University, 2021, 38(5): 34-38. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0185.2021.05.006.
- [13] 彭小婷. WGS84经纬度转百度平面坐标的离线转换方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(9): 196-200.
- PENG Xiaoting. Research on the offline conversion method of WGS84 latitude and longitude to Baidu plane coordinates [J]. Surveying and spatial Geographic Information, 2017, 40(9): 196-200.
- [14] 诸云, 王建宇, 江静婷. 基于TTI法的城市道路拥堵评价研究[C]//2017世界交通运输大会. 北京: 中国公路学会, 2017.
- ZHU Yun, WANG Jianyu, JIANG Jingting. Research on urban road congestion evaluation based on TTI method [C]//World Transportation Congress 2017. Beijing: China Highway and Transportation Society, 2017.
- [15] 谢海莹. 基于典型经验路径库的路径规划算法[J]. 交通运输研究, 2016, 2(1): 17-22. DOI: 10.16503/j.cnki.2095-9931.2016.01.003.
- XIE Haiying. A route planning algorithm based on typical experience route database [J]. Transport Research, 2016, 2(1): 17-22. DOI: 10.16503/j.cnki.2095-9931.2016.01.003.
- [16] 唐克双, 徐天祥, 潘昂, 等. 基于定点检测数据的城市干道车辆轨迹重构[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016, 44(10): 1545-1552. DOI: 10.11908/j.issn.0253-374x.2016.10.011.
- TANG Keshuang, XU Tianxiang, PAN Ang, et al. Signal timing and detector data-based reconstruction of vehicle trajectories on urban arterials [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2016, 44(10): 1545-1552. DOI: 10.11908/j.issn.0253-374x.2016.10.011.

(责任编辑:石月珍;英文编辑:陈璐)