

顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法

殷吉崇, 武芳, 李安平, 杜佳威, 刘呈熠

引用本文:

殷吉崇, 武芳, 李安平, 等. 顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(11): 1774–1781.

YIN Jichong, WU Fang, LI Anping, et al. Trajectory Matching Considering Speed and Heading Information[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(11): 1774–1781.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

顾及各向异性加权力矩与绝对相位方向的异源影像匹配

Heterologous Images Matching Considering Anisotropic Weighted Moment and Absolute Phase Orientation

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(11): 1727–1736 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200702>

一种基于方向象限映射的轨迹移动模式分析方法

A Direction–Quadrant Mapping Oriented Approach for Trajectory Moving Pattern Analysis

武汉大学学报·信息科学版. 2020, 45(4): 495–503 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190153>

面向无人机倾斜影像的高效SfM重建方案

Solution for Efficient SfM Reconstruction of Oblique UAV Images

武汉大学学报·信息科学版. 2019, 44(8): 1153–1161 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20180030>

基于深度学习的立体影像密集匹配方法综述

A Review of Dense Stereo Image Matching Methods Based on Deep Learning

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(2): 193–202 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200620>

利用方向相位特征进行多源遥感影像匹配

A Multi–source Remote Sensing Image Matching Method Using Directional Phase Feature

武汉大学学报·信息科学版. 2020, 45(4): 488–494 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20180445>



顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法

殷吉崇¹ 武芳¹ 李安平¹ 杜佳威¹ 刘呈熠¹

¹ 信息工程大学地理空间信息学院,河南 郑州,450001

摘要:现有轨迹匹配方法具有一定局限性,其匹配精度无法满足车辆导航定位的需求。针对拓扑匹配方法对于起始匹配位置的依赖性,提出了顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法。该方法综合利用速度、距离和航向约束改进起始匹配路段和起始位置的判定,并通过后续时刻车辆的正确匹配位置修正起始位置,避免了传统拓扑匹配方法中起始位置匹配错误导致的误差传递累积,提高匹配路段的准确性。同时以起始位置为基础,速度与时间信息为约束确定匹配点。为验证所提方法的有效性,选取多条复杂程度各异的路线进行实验,并与现有的几何匹配方法和拓扑匹配方法进行比较。实验结果表明,该方法在不同复杂程度的城市路网下具有良好的匹配效果,准确率可达93.53%。在匹配准确率方面优于现有的两种方法,在匹配效率方面能满足定位导航的需求。

关键词:轨迹匹配;拓扑关系;速度约束;误差修正

中图分类号:P283;P237

文献标志码:A

城市车辆轨迹数据蕴含着丰富的位置信息,为城市空间数据的更新与挖掘提供了信息支撑^[1]。真实道路是面状地物,行车轨迹在该面状地物内,但当道路抽象为线状地物时,轨迹与道路就会出现不完全匹配的情况。由于存在全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)误差,车辆轨迹难以准确反映位置信息,轨迹数据无法直接应用于路网更新^[2]、交通状态分析^[3]、出行规律发现^[4]和动态路径规划^[5]等研究中。因此,研究提高轨迹定位精度的数据处理方法具有重要意义。车辆轨迹与行驶道路的匹配能够纠正轨迹位置,且避免了外界干扰引发的不确定性,是提高导航定位准确性的重要方法之一^[6]。

轨迹与地图匹配方法是将定位数据匹配到道路网数据中,以识别车辆正在行驶的正确路段并确定路段上车辆的位置^[7]。文献[8]综述了轨迹与地图匹配的研究发展,并将匹配方法分为几何匹配方法、拓扑匹配方法、概率匹配方法和其他匹配方法。不同的算法具有不同的优缺点和适用范围,文献[9-11]提出的几何匹配方法易于实施且匹配速度快,但未考虑道路间的连接方式,在城

市密集路段容易出现误匹配;文献[6,12-13]提出的拓扑匹配方法顾及道路的连通性和延续性,在密集路段依然保持很好的匹配效果,但该方法比较依赖初始位置的匹配,匹配误差会随着道路的延续而传递累积;概率匹配方法通过构建椭圆或矩形缓冲区快速获取与轨迹相交的路段,该方法常用于匹配路段的初步筛选,作为匹配方法的预处理步骤,文献[14]按照定位点精度构建缓冲区进行候选匹配路段的筛选;其他匹配方法包括卡尔曼滤波器^[15]、D-S证据理论^[16]、隐式马尔可夫模型^[17]、粒子滤波器^[18]和模糊逻辑模型^[19]等,尽管先进的匹配技术具有较高的准确性,但效率较低。为平衡匹配算法的准确性与效率,文献[17]通过预存道路网中所有路口最短路径的方式解决先进匹配技术的性能瓶颈,但最短路径并不总能代表最真实的路径。

几何、拓扑及其他信息相结合的匹配方法^[20-22]能够进一步提高匹配质量与性能,是近些年研究的热点。文献[14]综合利用曲线相似性、路网拓扑关系和交通规则约束提出一种轨迹数据的全局地图匹配方法,该方法在轨迹与地图匹配的后处理过程中效果很好,但无法为车辆导航

收稿日期:2021-01-30

项目资助:国家自然科学基金(41101362)。

第一作者:殷吉崇,博士生,主要从事遥感影像矢量化提取与地图自动综合研究。jichongy@whu.edu.cn

通讯作者:武芳,博士,教授。wufang_630@126.com

定位提供实时匹配服务。文献[23]提出的并行地图匹配方法在计算效率上满足大规模浮动车流数据实时处理的需求,但在复杂路口匹配正确率低。文献[12]采用路网拓扑约束匹配算法,消除了密集路段的误匹配,但针对低频采样数据在复杂路口的匹配未作处理,容易匹配到错误路段,且拓扑匹配方法对起始匹配路段和起始位置的准确度要求很高,该方法并不能提升起始匹配路段和起始位置的准确性。因此,本文在优化起始匹配路段和起始匹配位置判定的基础上,针对车辆在复杂路口的匹配问题,附加速度信息约束,提出了一种顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法。

1 本文方法

本文方法可分为确定匹配路段和确定匹配位置两个阶段,技术流程如图 1 所示。首先在初始匹配路段及匹配位置确定的前提下,按照 GNSS 定位误差和轨迹延续性分别生成轨迹点 GNSS 误差圆和轨迹段矩形缓冲区,筛选出候选匹配路段集;然后依据矢量路网高精度的定位坐标和高准确度的拓扑结构获取路段间的接续关系,构建最优匹配路段;最后利用车辆速度和行驶时间,实时修正车辆当前位置。

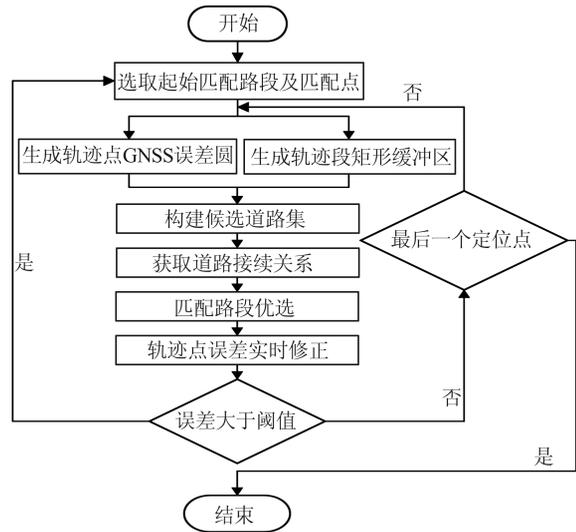


图 1 本文方法的流程图

Fig.1 Flowchart of Our Proposed Method

2 基于多约束的匹配路段确定

2.1 匹配路段判定准则

针对车辆在立交桥、路口和平行路段等特殊路段上匹配准确率低的问题,本文利用路网中道路的拓扑关系、限速信息,以及轨迹数据中的位置信息、时间信息和航向信息设计了基于多约束的匹配路段判定准则,如图 2 所示。

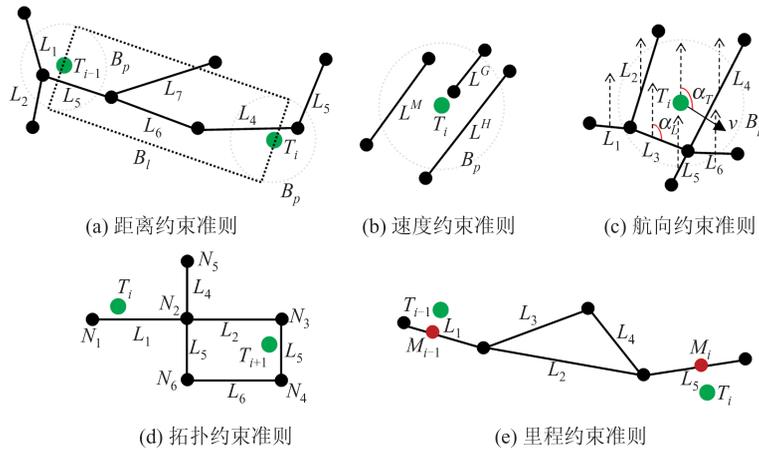


图 2 匹配路段判定准则

Fig.2 Determination Criteria of Matching Section

2.1.1 距离约束准则

距离约束主要通过构建缓冲区的方式实现,本文针对轨迹点和轨迹段分别构建离散缓冲区和连续缓冲区,如图 2(a)所示, T_i 、 T_{i-1} 分别为 i 时刻及其前一时刻轨迹点, B_p 为轨迹点 T_i 的离散缓冲区, B_i 为轨迹段 $T_{i-1}T_i$ 的连续缓冲区, $L_1, L_2 \dots L_7$ 均为候选路段。

以轨迹点的定位误差圆大小为范围构建离

散缓冲区 B_p , 并以轨迹段长度为矩形一边、该误差圆直径为矩形另一边,沿行车方向构建连续缓冲区 B_i , 落在缓冲区内以及与缓冲区相交的路段作为候选路段 M^L 。因此, 轨迹点距离约束准则为:

$$M^L = (B_p \supseteq L) \cup (B_p \cap L) \quad (1)$$

式中, L 表示路网中的路段。

轨迹段距离约束准则为:

$$M^L = [(B_p \cup B_l) \supseteq L] \cup [(B_p \cup B_l) \cap L] \quad (2)$$

2.1.2 速度约束准则

高精度矢量道路网中包含了路段的限速信息,主要分为高速公路、城市主干道和普通道路。如图2(b)所示,记高速公路路段为 L^H ,城市主干道路段为 L^M ,普通道路路段为 L^G 。高速公路限速100 km/h,城市主干道限速50 km/h,普通道路限速40 km/h(该限速信息由矢量道路网属性信息获得),当轨迹点速度为80 km/h时,依据路段限速信息,匹配路段为 L^H 。在假设车辆遵守交通规则、不超速行驶的前提下,将 i 时刻轨迹点对应的车辆行驶速度 v_i 与路段限速信息相结合,进一步筛选候选路段 M^L 。速度约束准则如下:

$$M^L \subseteq \begin{cases} L^G, 0 < v_i \leq 40 \\ L^M, 40 < v_i \leq 50 \\ L^H, 50 < v_i \leq 100 \end{cases} \quad (3)$$

2.1.3 航向约束准则

分别计算行车方向、候选路段方向与真北方向间的夹角 α_T 、 α_L ,则行车方向与候选路段方向的夹角 θ 为:

$$\theta = \begin{cases} |\alpha_T - \alpha_L|, 0 \leq |\alpha_T - \alpha_L| \leq 180^\circ \\ 360^\circ - |\alpha_T - \alpha_L|, 180^\circ < |\alpha_T - \alpha_L| \leq 360^\circ \end{cases} \quad (4)$$

θ 越小,则行车方向与候选路段方向偏离越小,故选取偏离最小的候选路段作为匹配路段,航向约束准则可表示为:

$$M^L = \min \{ M^L | \text{key} = \text{sort}(\theta) \} \quad (5)$$

式中, $\text{sort}(\theta)$ 表示对 θ 中元素进行排序; $\min \{ \}$ 表示返回最小值函数; $\text{key} = \text{sort}(\theta)$ 表示依据排序后的 θ 返回最小值。

由于行车方向与路段 L_3 方向偏差较小,故排除其他候选路段,将路段 L_3 作为匹配路段,如图2(c)所示。

2.1.4 拓扑约束准则

矢量道路网中每一路段均由起始结点和终止结点构成,道路属性文件和道路结点文件中记录了各路段的结点信息和该结点关联的路段。据此构建路段拓扑关系,以某路口为例,建立路段拓扑结构如图2(d)所示,其路段结点关系如表1所示,结点路段关系如表2所示。

表1中通行方向为双向的路段,其起始结点ID与终止结点ID可以互换。当上一匹配路段的终止结点ID与当前匹配路段的终止结点ID相同,且当前匹配路段为双向通行路段时,转换当

表1 路段结点关系

Tab.1 Relationship of Link-Node

路段ID	起始结点ID	终止结点ID	通行方向
L_1	N_1	N_2	双向
L_2	N_2	N_3	单向
L_3	N_3	N_4	双向
L_4	N_2	N_5	双向
L_5	N_2	N_6	双向
L_6	N_4	N_6	单向

表2 结点路段关系

Tab.2 Relationship of Node-Link

结点ID	是否路口	与结点关联的路段数量	与结点关联的路段ID
N_1	否	1	L_1
N_2	是	4	L_1, L_2, L_4, L_5
N_3	否	2	L_2, L_3
N_4	否	2	L_3, L_6
N_5	否	1	L_4
N_6	否	2	L_5, L_6

前匹配路段的结点ID。依据表1、2,可以获得路段接续关系。图2(d)中,当 i 时刻轨迹点匹配到路段 L_3 上且前时刻轨迹点在路段 L_1 上时,考虑到路段 L_6 为单向通行路段,故匹配路段为 $L_1-L_2-L_3$ 。

2.1.5 里程约束准则

前后轨迹点的车辆速度与行驶时间已知,可以计算车辆前后轨迹点间所经过的真实里程 S_{true} ,再与多条路径对应的道路距离 $S_i (i=1, 2 \dots n)$ 进行比较,距离更接近真实里程的为车辆真实行驶路径。记前后轨迹点间可达的多条路径分别为 $R_1, R_2 \dots R_n$,匹配路段 M^L 判定准则如下:

$$M^L = \min \{ R_i | \text{key} = \text{sort}(S_{\text{true}} - S_i) \} \quad (6)$$

式中, $\text{key} = \text{sort}(S_{\text{true}} - S_i)$,表示依据排序后的 $S_{\text{true}} - S_i$ 返回最小值。

如图2(e)所示,车辆从 M_{i-1} 到 M_i 的里程为90 m,两轨迹点间存在多条路径,经由 $L_1-L_2-L_5$ 的路径距离为70 m,而经由 $L_1-L_3-L_4-L_5$ 的路径距离为95 m,故车辆真实行驶路段为 $L_1-L_3-L_4-L_5$ 。

2.2 起始匹配路段判定

起始匹配路段判定是保证本文轨迹匹配方法有效性的重要基础。依据本文设计的距离、速度和航向约束准则可以优化起始匹配路段的判定,本文起始匹配路段判定过程如下:(1)利用起始轨迹点构建离散缓冲区,采用轨迹点距离约束准则选取候选路段集 M^L ,若 M^L 为空,则进入步骤(2);若 M^L 数量为1,则判定结束, M^L 即为起始

匹配路段;若 M^l 数量大于 1,则进入步骤(3)。(2)跳过该轨迹点,进入下一轨迹点,为前后时刻轨迹段构建连续缓冲区,采用轨迹段距离约束准则选取候选路段集 M^l ,若 M^l 为空,则重复步骤(2),直至 M^l 不为空;若 M^l 数量为 1,则判定结束, M^l 即为起始匹配路段;若 M^l 数量大于 1,则进入步骤(3)。(3)运用速度约束准则判定候选路段集 M^l 中各路段所属道路类型,车辆速度符合某道路类型限速条件,则该路段为起始匹配路段;若车速为 0 或多条路段属于同一道路类型,则进入步骤(4)。(4)利用航向约束准则选取行车方向与候选路段方向夹角 θ 最小的作为起始匹配路段。

2.3 匹配路段确定

在起始匹配路段确定基础上,考虑到轨迹的延续性和矢量道路网高准确度的拓扑结构,利用拓扑和里程约束准则确定匹配路段,匹配路段确定步骤如下:(1)利用轨迹段距离约束准则获取起始匹配路段下一时刻轨迹段的候选匹配路段 M^l ;(2)在车辆进入道路交叉口前,利用拓扑约束准则从候选匹配路段 M^l 中选取唯一连通且可行的路段作为匹配路段;(3)当车辆进入复杂路口时,按照起始匹配路段判定过程中的步骤优选出匹配路段 M^l ,若 M^l 唯一,则得到最佳匹配路段,若 M^l 不唯一,则进入步骤(4);(4)利用里程约束准则终选出最佳匹配路段。

3 基于误差修正的匹配位置优化

3.1 起始位置判定

起始匹配路段确定后,计算起始轨迹点到该路段的距离 d 以确定起始位置 S^p 。起始匹配路段记为 S^l ,其结点记为 $N_s、N_e$,起始轨迹点 T_1 到起始匹配路段 S^l 垂直映射的垂足记为 V 。则起始位置判定准则如下:(1)若垂足 V 在起始匹配路段 S^l 上,则垂足 V 即为起始位置 S^p ;(2)若垂足 V 不在起始匹配路段 S^l 上,则分别计算起始轨迹点 T_1 到起始匹配路段结点 $N_s、N_e$ 的距离,取距离小的结点作为起始位置。

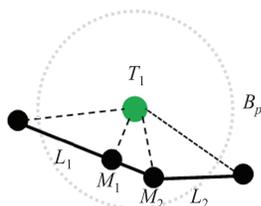


图3 起始位置判定准则

Fig.3 Determination Criterion of Initial Position

图3为起始位置判定示意图, L_1 和 L_2 为起始候选路段, M_1 和 M_2 为起始候选位置。经过距离、速度、航向约束的筛选,若 L_1 为起始匹配路段,则 M_1 为起始匹配位置;若 L_2 为起始匹配路段,则 M_2 为起始匹配位置。

3.2 匹配位置确定

在确定车辆真实起始位置和匹配路段后,利用车辆速度与行驶时间确定车辆在匹配路段上的真实位置。依据前一时刻与当下时刻的平均速度 \bar{v} 和时长 t ,得到车辆在匹配路段上行驶距离 S_{true} 。在起始位置的基础上,沿匹配路段加上行驶距离,得到车辆在当下时刻的匹配位置 M^p ,计算如下:

$$M^p = S^p + S_{true} \quad (7)$$

3.3 匹配位置误差修正

为避免因起始位置匹配错误而导致的误差传递累积,本文利用车辆后续时刻在匹配路段上的匹配位置反馈修正车辆的起始位置。

当起始位置匹配错误时,拓扑匹配方法的匹配误差会传递累积,影响后续轨迹点的匹配。如图4所示,当起始轨迹点错误地匹配到路段 L_1 上时,拓扑匹配方法便会错误地以 M_i^* 为车辆真实起始位置进行追踪,从而在某时刻得到错误的车辆位置 M_i^* ,而 M_i 才是车辆在该时刻的真实位置。错误匹配点 M_i^* 与该时刻轨迹点 T_i 距离相差过大,故可设定轨迹点与匹配位置间距离的容差,以此约束匹配过程,修正匹配位置。误差修正的过程如下:(1)设置轨迹点与匹配位置间距离容差 ρ ,每个轨迹点匹配结束后,计算检核匹配位置与对应轨迹点间的距离 D ;(2)比较距离 D 与容差 ρ 数值大小,若 $D < \rho$,则继续下一时刻轨迹点的匹配;若 $D \geq \rho$,则以当前轨迹点为起始点重新判定起始匹配路段和起始位置。

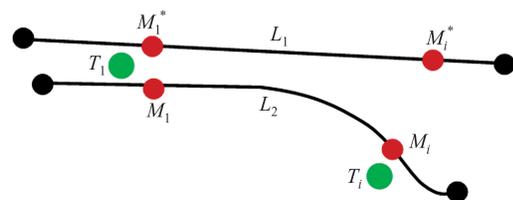


图4 匹配误差传递

Fig.4 Transmission of Matching Error

4 实验与分析

4.1 实验设置

为验证本文匹配方法的有效性,采用武汉光庭公司生产的高精度矢量道路数据和车辆行驶测试数据进行了轨迹与地图匹配实验。测试

环境为 Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60 GHz 2.59 GHz、RAM 16.0 GB、Windows10 X64、PyCharm 2018、Python 3.6。实验选取了不同长度、不同级别道路实地跑车采集轨迹数据,包含平行路段、复杂路口和立交桥等特殊路段,测试路线如图 5 所示,路线基本信息如表 3 所示。

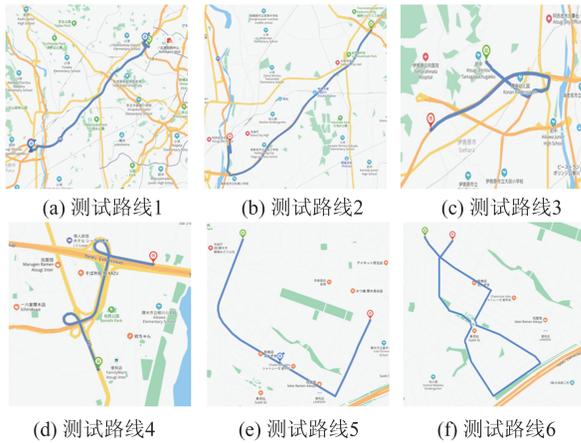


图 5 测试路线
Fig.5 Test Routes

表 3 测试路线基本信息

Tab.3 Basic Information of Test Routes

路线	起始位置	终点位置	路线长度/km
1	139.545 748 4°E, 35.544 231 7°N	139.352 959 4°E, 35.418 647°N	26.3
2	139.483 113 9°E, 35.506 643 1°N	139.377 809 7°E, 35.440 759 1°N	16.9
3	139.326 290 5°E, 35.428 644 4°N	139.294 092 9°E, 35.405 629 4°N	10.8
4	139.361 955 7°E, 35.416 893 1°N	139.366 901 3°E, 35.423 461 5°N	2.0
5	139.330 056 4°E, 35.431 432 2°N	139.338 216 9°E, 35.427 276 6°N	1.8
6	139.328 489 9°E, 35.427 437 4°N	139.330 095°E, 35.427 483°N	2.1

实验前需要剔除轨迹数据中重复的坐标点和未显示经纬度坐标的点,并对道路数据和轨迹数据进行坐标转换。

4.2 实验结果

考虑到GNSS定位误差和道路宽度,距离约束的阈值设置为 15 m,匹配位置误差修正容差设置为 50 m。为了更好地验证本文方法效果,将本文方法和文献[9]提出的几何匹配方法以及文献[12]提出的路网拓扑约束匹配方法进行对比,结果如图 6 所示。

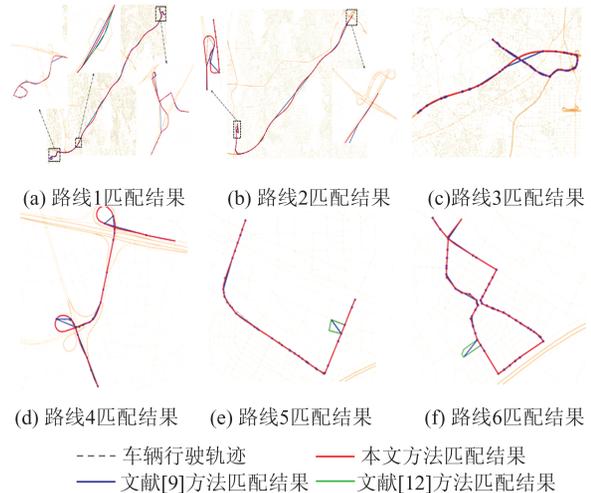


图 6 匹配结果

Fig.6 Matching Results

4.3 对比分析

4.3.1 匹配质量

本文对 3 种方法在立交桥、路口和平行路段等特殊路段的匹配结果进行了对比。由图 6 可知,在立交桥处,文献[9]方法出现误匹配;文献[12]方法和本文方法利用拓扑约束准则匹配到正确路段。在路口处,文献[9]方法容易出现误匹配;文献[12]方法能够处理一般路口的匹配问题,但在多路径通行路段仅仅以最短路径作为车辆真实行驶道路并非可靠的解决方法;本文方法利用拓扑、航向和里程约束准则在复杂路口和多路径通行路段能成功匹配。文献[9]方法无法应对平行路段的匹配问题;在起始路段匹配正确的情况下,文献[12]方法利用路网拓扑约束可以处理后续路段的匹配,但当车辆在平行路段起步时,该方法容易出现误匹配;本文方法利用距离、速度和航向约束准则可以优化起始路段的匹配。在没有平行路段和复杂路口的干扰下,3 种方法均表现良好,只有文献[9]方法在前后轨迹点间距较大时出现误匹配。可见,本文方法在特殊路段能够进行准确匹配,基本上解决了车辆所在行驶路段的匹配问题。

此外,本文以 $r = (n_{\text{right}}/n_{\text{all}}) \times 100\%$ 衡量匹配方法的准确度^[24],对车辆轨迹匹配结果进行了统计,结果如表 4 所示,其中 r 为匹配正确率, n_{right} 为正确匹配的路段数量, n_{all} 为轨迹对应的全部路段数量。由表 4 可知,本文方法平均匹配准确率达到 93.53%,相比较于文献[9]和文献[12]匹配方法,其准确率有了较大提高,能满足定位导航的需求。

本文匹配位置的确定过于依赖起始位置和行

驶距离,尽管依靠误差修正的方式可以实时调整匹配位置,但对低频 GNSS 轨迹数据的匹配结果并不可靠。低频 GNSS 轨迹数据采样间隔大、轨迹点稀疏,一旦起始位置匹配错误,由于前后轨迹点间距过大,因距离传递累积的误差难以消除。

表 4 匹配结果比较

Tab.4 Comparison of Matching Results

匹配方法	n_{all}	n_{right}	$r/\%$
本文方法	340	318	93.53
文献[9]方法	340	275	80.88
文献[12]方法	340	311	91.47

4.3.2 匹配效率

为进一步探究本文算法的匹配效率,本文对不同测试路线匹配的时间进行了统计,结果如表 5 所示。可以看出,本文对测试路线 1 的匹配用时为 22.46 s,由于测试路线 1 含有 120 个轨迹点,每一个轨迹点及相邻轨迹点间匹配路段的确定需要耗时 0.19 s,对于采样频率为 0.1 s 的车载 GNSS 基本满足车辆实时定位导航的需求。但与文献[12]方法相比,实时性仍有待于进一步提升。由于文献[12]方法以增量化方式选取最短路径作为匹配路段,降低了匹配复杂度,其匹配时间仅需 0.147 s。

表 5 匹配时间统计

Tab.5 Statistics of Matching Time

测试路线	轨迹点数量/个	匹配时间/s	单个轨迹点平均匹配时间/s
1	120	22.46	0.19
2	49	3.00	0.06
3	82	20.25	0.25
4	23	0.20	0.01
5	23	2.06	0.09
6	49	15.89	0.33

由表 5 可知,匹配时间不仅与轨迹点数量有关,还与车辆行驶路段的复杂程度密切相关。当车辆行驶道路交叉口较多时,算法匹配耗时多。测试路线 2 与测试路线 6 所含轨迹点数量一样多,尽管测试路线 2 距离更长,但由于测试路线 6 匹配时需要进行更多路口的判定,故耗时多。

综上所述,本文方法总体上匹配效果良好,在保持较高匹配准确率的同时能够基本满足车载定位导航实时性的需求。但本文方法不适用于低频 GNSS 轨迹数据车辆位置的精确匹配,且实时性可以进一步提升。

5 结 语

本文提出了一种顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法,实现了不同复杂程度城市路段的 GNSS 轨迹数据地图匹配。该方法在建立路网拓扑关系的基础上,考虑车辆行驶速度与航向信息,优化了匹配路段的选取过程,同时改进了起始匹配路段与匹配位置的判定准则,并利用匹配位置修正起始位置的判定,避免了传统拓扑匹配方法因起始位置匹配错误导致的误差传递累积;在候选道路集构建中考虑轨迹的延续性,增加矩形缓冲区,避免漏匹配;利用速度与时间信息在匹配路段上确定匹配位置,可以较为真实地反映车辆行驶状态。实验结果验证了本文方法的有效性。

参 考 文 献

- [1] Guo Renzhong, Lin Haojia, He Biao, et al. GIS Framework for Smart Cities[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1 829-1 835 (郭仁忠, 林浩嘉, 贺彪, 等. 面向智慧城市的 GIS 框架[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(12): 1 829-1 835)
- [2] Tang Luliang, Jin Chen, Yang Xue, et al. Road Network Topology Automatic Change Detection Based on GPS Spatio-Temporal Trajectories [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(10): 1 381-1 386 (唐炉亮, 靳晨, 杨雪, 等. 基于 GPS 时空轨迹的路网拓扑自动变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(10): 1 381-1 386)
- [3] Tan C P, Liu L, Wu H, et al. Fusing License Plate Recognition Data and Vehicle Trajectory Data for Lane-Based Queue Length Estimation at Signalized Intersections [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2020, 24(5): 449-466
- [4] Kim H, Nam D, Suh W, et al. Origin-Destination Trip Table Estimation Based on Subarea Network OD Flow and Vehicle Trajectory Data [J]. *Transportation Planning and Technology*, 2018, 41(3): 265-285
- [5] Wu L, Hu S, Yin L, et al. Optimizing Cruising Routes for Taxi Drivers Using a Spatio-Temporal Trajectory Model [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6(11): 373-384
- [6] Li Xiang, Ma Shuang, Yang Hui, et al. Vector Road Matching Algorithm Based on a Topological Path [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2017, 22(5): 596-609 (李翔, 马爽, 杨辉, 等. 矢量道路拓扑追踪匹配算法[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22

- (5): 596-609)
- [7] Hashemi M, Karimi H A. A Critical Review of Real-Time Map-Matching Algorithms: Current Issues and Future Directions[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2014, 48: 153-165
- [8] Quddus M A, Ochieng W Y, Noland R B. Current Map-Matching Algorithms for Transport Applications: State-of-the Art and Future Research Directions[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2007, 15(5): 312-328
- [9] Bernstein D, Kornhauser A. An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants [J]. *Geometric Distributions*, 1998, 122(7): 1 082-1 083
- [10] White C E, Bernstein D, Kornhauser A L. Some Map Matching Algorithms for Personal Navigation Assistants [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2000, 8(2): 91-108
- [11] Zeng Zhe, Li Qingquan, Zou Haixiang, et al. Curvature Integration Constrained Map Matching Method for GPS Floating Car Data[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(10): 1 167-1 176 (曾喆, 李清泉, 邹海翔, 等. 曲率积分约束的GPS浮动车地图匹配方法[J]. 测绘学报, 2015, 44(10): 1 167-1 176)
- [12] Zhu Di, Liu Yu. An Incremental Map-Matching Method Based on Road Network Topology[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(1): 77-83 (朱递, 刘瑜. 一种路网拓扑约束下的增量型地图匹配算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(1): 77-83)
- [13] Li Qingquan, Hu Bo, Yue Yang. Flowing Car Data Map-Matching Based on Constrained Shortest Path Algorithm [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(7): 805-808 (李清泉, 胡波, 乐阳. 一种基于约束的最短路径低频浮动车数据地图匹配算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(7): 805-808)
- [14] Li Qingquan, Huang Lian. A Map Matching Algorithm for GPS Tracking Data[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(2): 207-212 (李清泉, 黄练. 基于GPS轨迹数据的地图匹配算法[J]. 测绘学报, 2010, 39(2): 207-212)
- [15] Obradovic D, Lenz H, Schupfner M. Fusion of Map and Sensor Data in a Modern Car Navigation System[J]. *Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal, Image and Video Technology*, 2006, 45(1): 111-122
- [16] Zhou Yang, Fang Zhixiang, Li Qingquan, et al. Anomalous Taxi Trajectory Detection Based on Experiential Constraint Rules and Evidence Theory [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(6): 797-802 (周洋, 方志祥, 李清泉, 等. 利用经验约束规则和证据理论进行出租车异常轨迹检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(6): 797-802)
- [17] Yang C, Gidófalvi G. Fast Map Matching, an Algorithm Integrating Hidden Markov Model with Pre-computation[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2018, 32(3): 547-570
- [18] Zheng Shichen, Sheng Yehua, Lü Haiyang. Vehicle Trajectory-Map Matching Based on Particle Filter [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(11): 2 109-2 117 (郑诗晨, 盛业华, 吕海洋. 基于粒子滤波的行车轨迹路网匹配方法[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(11): 2 109-2 117)
- [19] Sun Wenbin, Xiong Ting. A Low-Sampling-Rate Trajectory Matching Algorithm in Combination of History Trajectory and Reinforcement Learning[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2016, 45(11): 1 328-1 334 (孙文彬, 熊婷. 历史数据和强化学习相结合的低频轨迹数据匹配算法[J]. 测绘学报, 2016, 45(11): 1 328-1 334)
- [20] Chen B Y, Yuan H, Li Q Q, et al. Map-Matching Algorithm for Large-Scale Low-Frequency Floating Car Data[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(1): 22-38
- [21] Zeng Z, Zhang T, Li Q Q, et al. Curvedness Feature Constrained Map Matching for Low-Frequency Probe Vehicle Data [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016, 30(4): 660-690
- [22] Yan Shenglong, Yu Juan, Zhou Houpan. IIVMM: An Improved Interactive Voting-Based Map Matching Algorithm for Low-Sampling-Rate GPS Trajectories[J]. *Computer Science*, 2019, 46(9): 325-332 (严盛隆, 于娟, 周后盘. IIVMM: 针对低频GPS轨迹的改进交互式投票匹配算法[J]. 计算机科学, 2019, 46(9): 325-332)
- [23] Xie Jinyun, Tu Wei, Li Qingquan, et al. A Parallel Map-Matching Approach for Large Volume Floating Car Stream Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(5): 697-703 (谢金运, 涂伟, 李清泉, 等. 大规模浮动车流数据并行地图匹配方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(5): 697-703)
- [24] Wang Xiao, Qian Haizhong, Liu Hailong, et al. A Hierarchical and Iterative Road Network Matching Method by Using Road Classification[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,

2016, 41(8): 1 072-1 078 (王骁, 钱海忠, 刘海龙, 等. 利用道路分类进行道路网层次迭代匹配

[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(8): 1 072-1 078)

Trajectory Matching Considering Speed and Heading Information

YIN Jichong¹ WU Fang¹ LI Anping¹ DU Jiawei¹ LIU Chengyi¹

¹ Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Objectives: Trajectory matching is the process of matching location data to the corresponding position in the road network. It is a necessary processing step for many related applications based on global navigation satellite system (GNSS) trajectory data analysis and position analysis. **Methods:** We propose a trajectory matching method considering speed and heading information to solve the problem that existing trajectory matching methods have low accuracy and efficiency for complex road network data. Firstly, we consider constraint criteria such as distance, heading, speed, topology and mileage to optimize the selection process of matching sections. Secondly, considering the continuity of the trajectory in the construction of the candidate road set, a rectangular buffer is added to avoid missing matches. Moreover, the proposed method improves the judgment criterion of initial position and uses the subsequent matching position to correct the judgment of initial position, and to avoid the accumulation of error transmission caused by the matching error of initial position in traditional topology matching method, and improves the matching accuracy. Finally, the speed and time information are used to determine the matching position in the matching section and to improve the matching efficiency. To evaluate the performance of our proposed method, a number of real route data sets with different complexity are used to compare the proposed method with the geometric matching method and topological matching method. **Results:** Experimental results show that the proposed method has a good matching effect for urban road networks with different levels of complexity. It can match the correct road for special road sections such as overpasses, intersections, and parallel sections. And the accuracy of the method can reach 93.53%, which outperforms the existing two methods. **Conclusions:** Our proposed method can meet the needs of positioning and navigation in terms of matching efficiency.

Key words: trajectory matching; topological relationship; speed constraint; error correction

First author: YIN Jichong, PhD candidate, specializes in remote sensing image vectorization extraction and automatic map generalization. E-mail: jichongy@whu.edu.cn

Corresponding author: WU Fang, PhD, professor. E-mail: wufang_630@126.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (41101362).

引文格式: YIN Jichong, WU Fang, LI Anping, et al. Trajectory Matching Considering Speed and Heading Information[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(11):1774-1781. DOI:10.13203/j.whugis20210058(殷吉崇, 武芳, 李安平, 等. 顾及速度与航向信息的轨迹匹配方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(11):1774-1781. DOI:10.13203/j.whugis20210058)