



一种基于改进LCSS的相似轨迹提取方法

张萍¹ 李必军^{1,2} 郑玲¹ 王建培¹

¹ 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

² 时空数据智能获取技术与应用教育部工程研究中心,湖北 武汉,430079

摘要:随着智能交通和高级驾驶辅助系统的火热发展,如何根据车辆轨迹数据生成高精地图成为业界的一大难题。轨迹相似性计算与相似轨迹提取是利用相似轨迹推理剩余车道位置的重要步骤,其正确率极大地影响车道位置的精度。传统最长公共子序列(longest common subsequence, LCSS)算法多用于计算重叠轨迹的相似性,针对此问题,根据采集的车道轨迹互相平行且保持固定距离的特点,提出一种适用于提取此类相似轨迹的改进LCSS方法。首先构建缓冲区,筛选可能相似的轨迹,然后利用基于平移和重采样的轨迹对齐策略使两条轨迹在时空中同步,最后基于LCSS计算两条轨迹的相似性,当相似度满足阈值条件时,判定该轨迹对相似。对比实验表明该方法能有效地提取相似轨迹。

关键词:高精度地图;车道推算;LCSS;轨迹对齐;相似性

中图分类号:P283.7

文献标志码:A

高精度地图已经成为实现无人驾驶和智能交通的重要一环^[1],高精度地图的采集和成图也面临越来越大的挑战。目前使用最广泛的方法是对轨迹数据进行成图,其精度较高但采集设备价格高昂,车道轨迹数据量庞大,手工编辑任务繁重^[2]。城市道路中的双线道路通常形状相似、相互平行且保持固定的距离,结构特征明显^[3]。依据这些特征,可利用采集的轨迹数据自动生成车道,首先采集道路最右侧的车道中心线轨迹,然后利用轨迹相似性算法查找构成同一路段的两条轨迹,最后基于两轨迹之间的距离以及车道宽度或数目等附加信息推理出车道位置。此方法已成为高精地图自动成图方法之一。轨迹相似性计算与相似轨迹提取^[4-6]是该方法数据处理环节的关键步骤,只有找到构成同一路段的两条轨迹,才能顺利推断出剩余车道的位置。因此,相似轨迹提取对于高精地图的自动成图具有重要意义,其正确率极大地影响地图的精度。

随着全球定位系统(Global Positioning System, GPS)的广泛应用,轨迹数据急剧增加,如何挖掘其中的有用信息已成为研究热点。轨迹相似性度量是轨迹聚类的重要手段^[7],广泛应用于

驾驶行为预测、群体路径偏好、路径预测等领域。轨迹相似性度量轨迹之间的相似程度^[8],常用的方法包括欧氏距离^[9-10]、动态时间规划(dynamic time warping, DTW)^[11]、编辑距离(edit distance on real sequence, EDR)^[12]和最长公共子序列(longest common subsequence, LCSS)。欧氏距离局限于采样点数目相同的轨迹,易受噪声影响^[10]。DTW、EDR可适用于不同采样间隔和采样点数的轨迹,且对噪声鲁棒。这3类方法计算序列的整体相似性,对个别的差异点非常敏感,如果两序列存在小部分不相似的区间,则会认为整个序列不相似。LCSS可弥补这个缺陷。LCSS最早被用于计算两个字符串的公共子序列。文献[13-14]将LCSS用于度量两个序列的相似性,适用于点数不同和具有强噪声的轨迹^[15]。

传统LCSS算法多是针对移动对象经过同一路径的重叠轨迹,这些轨迹是同步的。文献[14]将轨迹相似问题转化为LCSS问题,但没有处理轨迹不同步的情形。文献[16]利用LCSS提取大量车辆轨迹之间的相似子轨迹,文献[17]计算了LCSS相似度时结合时间和地理因素,并在此基础上分析移动用户轨迹的相似性。

收稿日期:2019-03-09

项目资助:国家自然科学基金(U1764262,41671441,41531177)。

第一作者:张萍,硕士,主要从事高精度地图方面的研究。zping@whu.edu.cn

通讯作者:李必军,博士,教授。lee@whu.edu.cn

本文研究对象是道路最右侧的车道中心线轨迹,如图 1 所示,两轨迹在垂直轨迹方向存在横向距离差(d_1),在沿轨迹方向存在纵向距离差(d_2),因此是不同步的。传统 LCSS 方法不适合直接计算其相似度,为使轨迹同步,需减小这些距离差的影响,因此本文先对轨迹进行对齐操作。与本文数据相似的是双线道路,在城市双线道路提取方面,文献[18]利用 Hausdorff 距离(Hausdorff distance, HD)筛选候选线对,但 HD 对顶点分布不均、局部形变较大的情况非常敏感^[19]。文献[3]提出一种新的距离度量方法,即正对投影距离(project distance, PD),该距离的实质是点到线的距离,其比 HD 更稳定,识别双线道路的正确率也更高,但仅局限于提取固定宽度的道路。

本文提出一种改进的 LCSS 轨迹相似性算法,首先构建缓冲区提取可能形成相似轨迹的候选轨迹对;然后对轨迹对进行对齐操作,将两条轨迹投影至同一主方向并垂直于主方向平移,再对轨迹进行三次样条拟合并计算沿法线的重采样点;最后基于 LCSS 计算轨迹的相似性,实现相似轨迹提取。

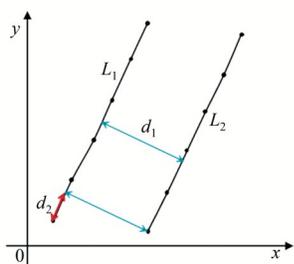


图 1 不同步轨迹

Fig.1 Asynchronous Trajectory

1 算法总体框架

本文算法的流程图如图 2 所示。主要包括构建候选轨迹集合、轨迹对齐以及基于 LCSS 的轨迹相似性计算 3 个步骤。输入的车辆轨迹数据是已经去除路口轨迹点和异常点的分段轨迹数据。轨迹对齐包括将两条轨迹投影至同一主方向并垂直于主方向进行平移,以及对轨迹进行三次样条拟合并沿航向的垂直方向进行重采样两个步骤。

2 轨迹对齐策略

2.1 基于主方向的轨迹平移

为获取平移方向及距离,用一条直线来近似表达轨迹。考虑到主成分分析(principal compo-

nent analysis, PCA)方法可将数据投影至该数据集的主特征方向上,本文采用 PCA 计算轨迹的主方向,将轨迹用一条沿主方向的直线表示。为找到最佳直线,本文作出如下定义。

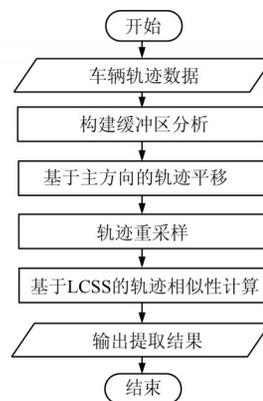


图 2 相似轨迹提取算法流程图

Fig.2 Flowchart of Similar Trajectory Extraction

定义 1 直线过点:点到直线的距离小于阈值 δ 。

定义 2 最佳参考直线:方向为轨迹主方向且经过轨迹上最多点的直线。

定义 3 最佳点:最佳参考直线经过的所有轨迹点的重心。

求得最佳点到最佳参考直线的投影点,将轨迹沿投影点方向平移。现实中的轨迹一般分为直线轨迹(图 3(a))和曲线轨迹(图 3(b)),两种轨迹寻找最佳直线和最佳点的方法相同,轨迹平移的计算方法也相同。图 3 中, L_1 和 L_2 是同一路段两条轨迹, l_1 、 l_2 分别是 L_1 、 L_2 的最佳参考直线,两直线均以 L_1 的主方向 k_1 为斜率, $Q_1(x_1, y_1)$ 、 $Q_2(x_2, y_2)$ 分别为 L_1 、 L_2 的最佳点, Q_2 到 l_1 的投影点 $Q_2'(x_2', y_2')$ 的计算式如下:

$$\begin{cases} x_2' = (k_1(y_2 - y_1) + k_1^2 x_1 + x_2) / (k_1^2 + 1) \\ y_2' = (k_1(x_2 - x_1) + k_1^2 y_2 + y_1) / (k_1^2 + 1) \end{cases} \quad (1)$$

取 $\overrightarrow{Q_2 Q_2'}$ 为平移方向, $|\overrightarrow{Q_2 Q_2'}|$ 为平移距离,其计算式为:

$$|\overrightarrow{Q_2 Q_2'}| = \sqrt{(x_2' - x_2)^2 + (y_2' - y_2)^2} \quad (2)$$

2.2 轨迹重采样

对轨迹进行重采样,需定义轨迹的数据模型。本文轨迹受道路网络约束,表示真实的道路形状,为尽量保留轨迹的特征信息,采用三次样条曲线模型。轨迹点包含车辆航向信息,车辆航向与道路方向基本一致,基于航向的法线方向对轨迹进行重采样,使两条轨迹对齐。

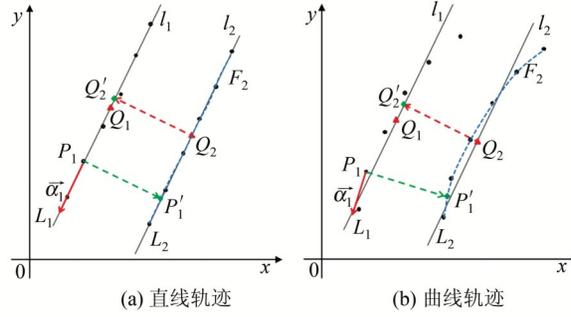


图3 轨迹对齐计算

Fig.3 Calculation of Trajectory Alignment

如图3所示, P_1 是轨迹 L_1 上一轨迹点, 其航向为 α_1 , 蓝色虚线 F_2 是轨迹 L_2 的三次样条拟合曲线, 过点 P_1 作 α_1 的垂线, 其与 F_2 的交点 P_1' 即为轨迹 L_2 的重采样点。

2.3 轨迹对齐具体步骤

轨迹对齐步骤如图4所示。

- 1) 任选一条轨迹 L_i 作为参考轨迹, 选择其候选轨迹集中的轨迹 L_j 作为候选轨迹, 计算 L_i, L_j 的最佳参考直线 l_i, l_j 及 L_j 的最佳点 Q_j ;
- 2) 计算最佳点 Q_j 到直线 l_i 的投影点 Q_j' , 取 $|\overline{Q_2Q_2'}|$ 为投影距离 t ;
- 3) 将轨迹 L_j 沿 $\overline{Q_2Q_2'}$ 方向平移距离 t ;
- 4) 对平移后的轨迹 L_j 进行三次样条拟合, 得到拟合曲线 F_j ;
- 5) 对轨迹 L_i 上的每个轨迹点 P_i , 沿其航向 α_i 的垂直方向对 F_j 进行重采样;
- 6) 得到对齐后的轨迹 L_j' 。

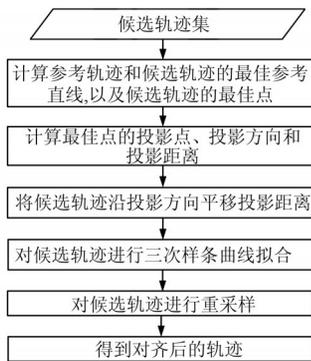


图4 轨迹对齐流程图

Fig.4 Flowchart of Trajectory Alignment

3 基于改进 LCSS 的相似轨迹提取

3.1 构建候选轨迹集合

同一路段的两条轨迹在空间上具有邻近性, 通过建立缓冲区, 从大量轨迹数据中筛选出可能相似的候选轨迹集, 能够有效缩小匹配范围, 减

少候选轨迹数量, 提高计算效率。

对任一轨迹建立缓冲区, 将位于缓冲区内的轨迹作为该轨迹的候选轨迹。为尽可能包含所有可能与该轨迹相似的轨迹, 缓冲区半径应设置较大的阈值。

3.2 基于改进 LCSS 的轨迹相似性计算

对于两条点数分别为 n 和 m 的轨迹 R 和 S , 用点集合表示为 $R = \{r_1, r_2 \dots r_n\}$ 和 $S = \{s_1, s_2 \dots s_m\}$, 则其最长公共子序列的长度为^[20]:

$$LCSS(R, S) = \begin{cases} 0, & \text{当 } n=0 \text{ 或 } m=0 \text{ 时} \\ 1 + LCSS(r_{i-1}, s_{j-1}), & \text{若 } \text{dist}(r_i, s_j) < \epsilon \\ \max(LCSS(r_{i-1}, s_j), LCSS(r_i, s_{j-1})), & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $i = 1, 2 \dots n; j = 1, 2 \dots m; \epsilon$ 表示衡量轨迹点对之间相似程度的阈值。

本文采用欧氏距离衡量两个点之间的相似程度, 对于两个点 $r_i(x_i, y_i), s_j(x_j, y_j)$, 其欧氏距离计算公式如下:

$$\text{dist}(r_i, s_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4)$$

若 $\text{dist}(r_i, s_j) \leq \epsilon$, 则认为两个点相似。最长公共子序列 $LCSS(R, S)$ 代表两条轨迹中判定为相似点对的对数, $LCSS(R, S)$ 与整条轨迹总点数的比值越大, 两条轨迹的相似程度越高。因此, 本文定义轨迹相似度如下:

$$SD(R, S) = LCSS(R, S) / \min(n, m) \quad (5)$$

式中, $\min(n, m)$ 表示两条轨迹总点数的较小值; $SD(R, S)$ 的取值为 $[0, 1]$, 0 表示两条轨迹完全不相似, 1 表示两条轨迹完全重合。本文中, 当 SD 大于某个阈值 γ 时, 两条轨迹相似。

4 实验与分析

4.1 数据采集

本文实验数据由武汉大学自动驾驶车“途友

号”(图5)采集,该车采用Novatel SPAN-FSAS惯性组合导航系统作为定位系统,定位精度为厘米级。驾驶车辆沿最右侧车道的中心线行驶,控制车速在20 km/h左右,采集频率为100 Hz。对采集的数据进行检核,剔除跳点及路口轨迹点并进行抽稀之后,最终获取精度在5 cm范围内的车道中心线轨迹数据(图6)。



图5 实验数据采集车

Fig.5 Experimental Data Acquisition Vehicle

实验测区总面积达20 km²,实验数据总长82.7 km,共7 515个点,包含97个路段,共194条轨迹。受定位误差及动态干扰影响,采集的同一路段的两条轨迹可能不相似。经统计,194条轨迹中相似轨迹为178条,不相似轨迹为16条。本文算法用MATLAB软件实现,程序运行环境为Windows 10操作系统,计算机中央处理器为主频3.6 GHz的i7处理器,内存8 GB。

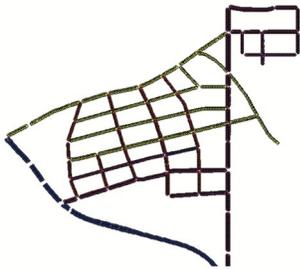


图6 实验数据

Fig.6 Experimental Data

4.2 阈值分析

缓冲区半径 r 影响候选轨迹的完整性, r 过小可能造成候选轨迹漏检,过大则影响计算效率。通过对整个测区进行测量分析,可知同一路段两条轨迹之间距离最大为45 m。经过微调,本文将 r 设为50 m^[18]。

直线过点的距离阈值 δ 会影响轨迹表达成直线的准确性。判断点对是否相似的距离阈值 ϵ 影响相似轨迹提取的正确率, ϵ 过大会将不相似轨迹误判为相似,过小则会造成漏检。衡量两条轨迹是否相似的相似度阈值 γ 也会影响相似轨迹的

识别结果, γ 过大可能造成漏检,过小则会误检。

为分析阈值 δ 、 ϵ 、 γ 对提取效果的影响,本文进行多次实验,采用正确率和查全率对提取结果进行评价^[20],统计结果如图7所示。

由图7可知,在 γ 取不同值下,当 δ 固定不变时,随着 ϵ 的增大,正确率逐渐降低,查全率逐渐升高,二者变化均较缓慢,当 $\delta=1$ m、 $\epsilon=4.5$ m时,查全率更是达到了100%,继续增大 ϵ ,查全率不会增大,正确率反而会降低。当 ϵ 一定时,正确率和查全率变化均不明显,大体上呈缓慢增大趋势,且正确率均比较高,说明当 δ 在[0.1, 1.5]范围取值时,均能取得较好的效果。

为综合考虑正确率和查全率,采用F1-measure来选择阈值,其计算式如下:

$$F1 = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (6)$$

式中, $F1$ 表示F1-measure;Precision和Recall分别表示正确率和查全率。分别计算 γ 取0.85、0.9、0.95时的F1值,根据统计结果绘制如图8所示的柱状图。本文选择 $\delta=1$ m、 $\epsilon=3.5$ m、 $\gamma=0.9$ 作为最终的阈值。

4.3 实验对比分析

为验证本文算法的有效性和合理性,将文献[3]中的正对投影距离度量方法与本文算法进行对比,参数阈值采用§4.2确定的最终阈值,相似轨迹提取的结果统计见表1。

由表1可知,文献[3]方法查全率为100%,即该方法将所有相似轨迹都提取出来,提取效果较好。与该方法相比,本文方法查全率较低,正确率较高,说明提取出的轨迹中相似轨迹占的比重较高。作为高精度地图成图的步骤之一,相似轨迹提取需要在保证正确率的同时提高查全率,因此,采用本文方法进行相似轨迹提取能达到较好的效果。

正对投影距离本质上是点到线的距离,因此线要素的顶点分布不均匀、局部形变等因素可能影响距离的度量结果,且该方法局限于提取固定路宽的双线道路。而本文利用LCSS计算两条轨迹的相似度,其核心是寻找两条轨迹的最长公共子序列,对强噪声具有很好的鲁棒性,同时能够提取任意宽度的轨迹。文献[3]计算了两条线要素之间的正对投影距离并构建距离一致性参数,若小于阈值,则认为这两条线要素相似。该方法对于本身不相似的轨迹容易造成误提取。如图9所示的两条轨迹是不相似的,而正对投影距离方法将其错误识别为相似,本文方法则认为其不相似。

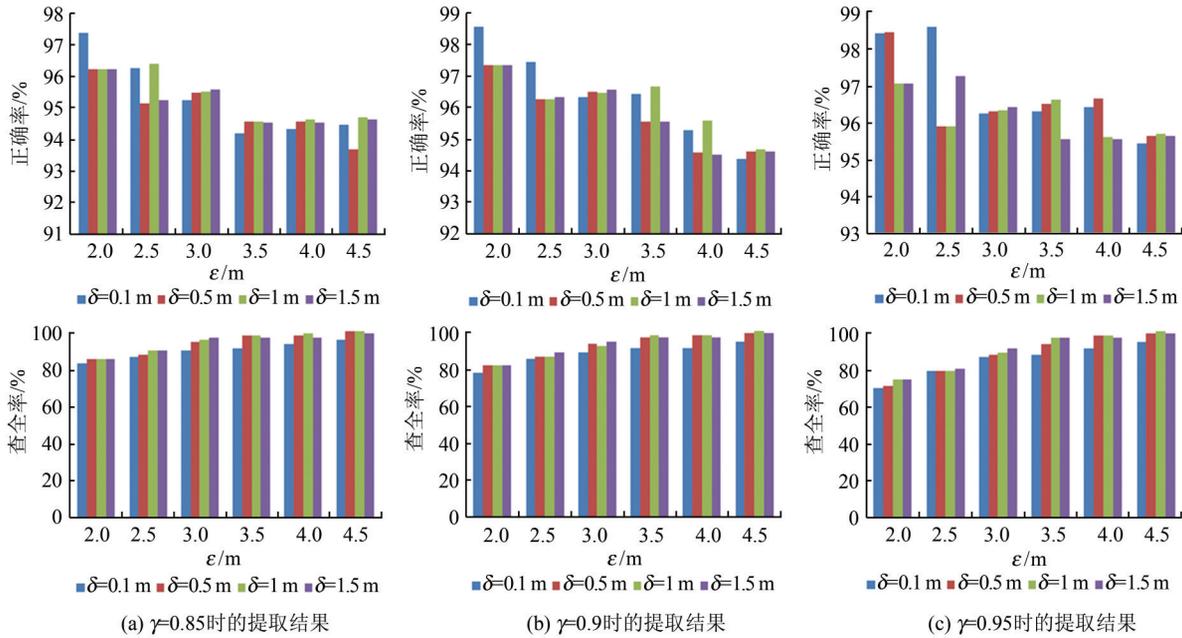


图7 不同阈值时的提取结果统计

Fig.7 Statistics of Extraction Results at Different Thresholds

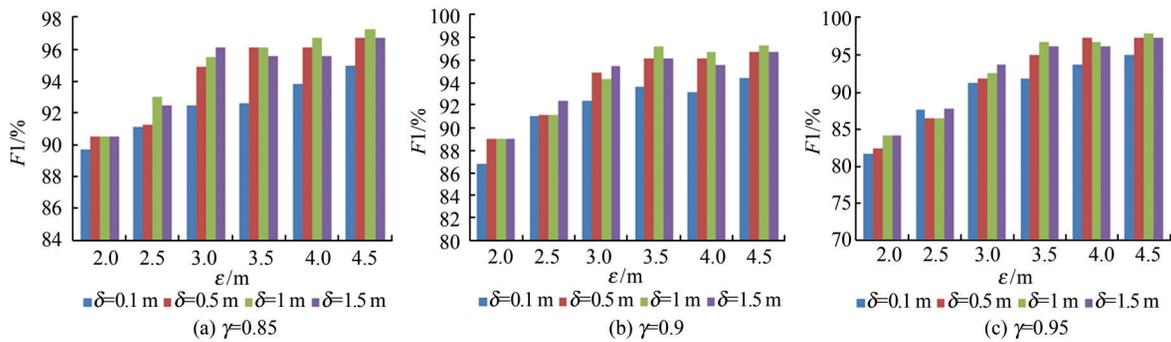


图8 F1-measure统计图

Fig.8 F1-measure Statistics

表1 相似轨迹提取结果统计表

Tab.1 Similar Trajectory Extraction Results Statistics

方法	轨迹总数/条	相似轨迹/条	不相似轨迹/条	正确提取/条	错误提取/条	正确率/%	查全率/%
本文方法	194	178	16	174	6	96.67	97.75
文献[3]方法	194	178	16	178	16	91.75	100



图9 不相似轨迹

Fig.9 Dissimilar Trajectory

5 结语

轨迹相似性计算及相似轨迹提取是车道位置自动推算的一个重要步骤,本文根据采集轨迹的结构特征,提出一种改进的LCSS相似轨迹提取方法。针对传统LCSS多用于重叠轨迹的问题,在计算相似度之前,先通过平移和重采样使

两条轨迹对齐。本文采用真实轨迹数据对该方法进行了评估,结果表明,采用本文方法进行相似轨迹提取能取得较高的正确率。

通过采集最外侧车道中心线轨迹,利用轨迹相似性推算车道的位置,对高精度地图成图的自动化具有重要意义。然而,车辆定位不可避免会有误差^[21],轨迹数据不一定表示真实的道路形状。同时,城市道路也存在车道数增多的情况,不一定完全平行。因此未来还需要进行更加深入的研究。本方法阈值较多,如何快速确定最佳阈值也是需进一步研究的问题。

参 考 文 献

- [1] Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. Review on China's Automotive Engineering Research Progress: 2017[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2017, 30(6):1-197 (《中国公路学报》编辑部. 中国汽车工程学术研究综述·2017[J]. 中国公路学报, 2017, 30(6):1-197)
- [2] He Yong, Lu Hao, Wang Chunxiang, et al. Generation of Precise Lane-level Maps Based on Multi-sensors [J]. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 2015(s1):274-278(贺勇, 路昊, 王春香, 等. 基于多传感器的车道级高精度地图制作方法[J]. 长安大学学报·自然科学版, 2015(s1):274-278)
- [3] Xing Ruixing, Wu Fang, Zhang Hao, et al. Dual-Carriageway Road Extraction Based on Facing Project Distance [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(1):152-158(行瑞星, 武芳, 张浩, 等. 基于正对投影距离的双线道路提取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(1):152-158)
- [4] Magdy N, Sakr M A, El-Bahnasy K. A Generic Trajectory Similarity Operator in Moving Object Databases[J]. *Egyptian Informatics Journal*, 2017, 18(1):29-37
- [5] Na T, Li G, Xie Y, et al. Signature-Based Trajectory Similarity Join[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2017, 29(4):870-883
- [6] Wang G W, Zhang J D, Li J. Complete Your Mobility: Linking Trajectories Across Heterogeneous Mobility Data Sources [J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2018, 33(4):792-806
- [7] Mao Y, Zhong H, Xiao X, et al. A Segment-Based Trajectory Similarity Measure in the Urban Transportation Systems[J]. *Sensors*, 2017, 17(3):524
- [8] Zhu Jin, Hu Bin, Shao Hua. Trajectory Similarity Measure Based on Multiple Movement Features[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(12):1703-1710(朱进, 胡斌, 邵华. 基于多重运动特征的轨迹相似性度量模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(12):1703-1710)
- [9] Chen L, Oria V. Robust and Fast Similarity Search for Moving Object Trajectories [C]. ACM Sigmod International Conference on Management of Data, Baltimore, USA, 2005
- [10] Dodge S, Weibel R, Laube P. Trajectory Similarity Analysis in Movement Parameter Space [C]. GIS Research UK Conference, Portsmouth, UK, 2011
- [11] Vlachos M, Gunopulos D, Das G. Rotation Invariant Distance Measures for Trajectories [C]. The 10th ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Seattle, USA, 2004
- [12] Chen L, Ng R. On the Marriage of L_p Norms and Edit Distance [C]. The 30th International Conference on Very Large Data Bases, Toronto, Canada, 2004
- [13] Vlachos M, Hadjieleftheriou M, Gunopulos D, et al. Indexing Multi-dimensional Time-Series with Support for Multiple Distance Measures [C]. ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Washington D C, USA, 2003
- [14] Vlachos M, Gunopulos D, Kollios G. Discovering Similar Multidimensional Trajectories [C]. International Conference on Data Engineering, San Jose, USA, 2002
- [15] Cheng Zhiyuan. Traffic Hotspot Analysis Based on Trajectory Clustering [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018(程智源. 基于轨迹聚类的交通热点分析[D]. 成都:电子科技大学, 2018)
- [16] Pei Jian, Peng Dunlu. LCSS-Based Computing Similarity Between Trajectories for Vehicles [J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2016, 37(6):1197-1202(裴剑, 彭敦陆. 一种基于 LCSS 的相似车辆轨迹查找方法[J]. 小型微型计算机系统, 2016, 37(6):1197-1202)
- [17] Chen Shaoquan. Research on Query Algorithm of Mobile User's Trajectory Similarity Based on Improved LCSS [J]. *Mobile Communication*, 2017, 41(6):77-82(陈少权. 基于改进 LCSS 的移动用户轨迹相似性查询算法研究[J]. 移动通信, 2017, 41(6):77-82)
- [18] Zhang Hao, Wu Fang, Gong Xianyong, et al. A Parallel Factor-Based Method of Arterial Two-lane Roads Recognition [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(8):1123-1130(张浩, 武芳, 巩现勇, 等. 一种基于平行系数的双线主干道识别方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(8):1123-1130)
- [19] Wang Chengcheng, Li Xiaowei, Zhi Jia, et al. Contour Matching Based on Hausdorff Distance [J]. *Journal of Xi'an University of Post and Telecommunications*, 2007, 12(3):91-94
- [20] Marascu A, Khan S A, Palpanas T. Scalable Similarity Matching in Streaming Time Series [C]. Pacific-Asia Conference on Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012
- [21] Zhang Y, Gao Y. An Improved Map Matching Algorithm for Intelligent Transportation System [C]. IEEE International Conference on Industrial Technology, Chengdu, China, 2008

A Similar Trajectory Extraction Method Based on Improved LCSS

ZHANG Ping¹ LI Bijun^{1,2} ZHENG Ling¹ WANG Jianpei¹

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Engineering Research Center for Spatio-Temporal Data Smart Acquisition and Application, Ministry of Education of China, Wuhan 430079, China

Abstract: With the rapid development of intelligent transportation, how to generate high-precision maps based on vehicle trajectory data has become a major problem in the industry. Trajectory similarity calculation and similar trajectory extraction are important steps to use the similar trajectory to infer the remaining lane position, and its correction greatly affects the accuracy of the lane position. The traditional LCSS (longest common subsequence) algorithm is mostly used to calculate the similarity of overlapping trajectories. To solve this problem, according to the characteristics that the lane trajectories are parallel and maintain a fixed distance, an improved LCSS method is proposed. Firstly, the buffer is constructed to screen out similar trajectories, then the trajectory alignment strategy based on translation and resampling is used to synchronize the two trajectories in space and time. Finally, the similarity of the two trajectories is calculated based on LCSS. When the similarity satisfies the threshold condition, it is determined that the trajectory pairs are similar. Experiment results show that the proposed method can effectively extract similar trajectories.

Key words: high-precision map; lane estimation; longest common subsequence; trajectory alignment; similarity

First author: ZHANG Ping, master, specializes in high precision maps. E-mail: zping@whu.edu.cn

Corresponding author: LI Bijun, PhD, professor. E-mail: lee@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(U1764262, 41671441, 41531177).

引文格式: ZHANG Ping, LI Bijun, ZHENG Ling, et al. A Similar Trajectory Extraction Method Based on Improved LCSS[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(4):550-556. DOI:10.13203/j.whugis20180406(张萍, 李必军, 郑玲, 等. 一种基于改进LCSS的相似轨迹提取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(4):550-556. DOI:10.13203/j.whugis20180406)

.....
(上接第 487 页)

paper aims to take scientific measures to improve the spatiotemporal big data services, strives to establish a technical support system for public epidemic prevention and control at ordinary times, and introduces a “wartime” spatiotemporal location big data sharing mechanism for epidemic prevention and control.

Key words: spatiotemporal location big data; public epidemic control; smart city; location-based service

First author: LI Deren, PhD, professor, Academician of Chinese Academy of Sciences, Academician of Chinese Academy of Engineering, Academician of Euro-Asia International Academy of Sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS, and promotes the construction of geographic national conditions monitoring, digital city, digital China, smart city and smart China. E-mail: drli@whu.edu.cn

Corresponding author: SHAO Zhenfeng, PhD, professor. E-mail: shaozhenfeng@whu.edu.cn

Foundation support: The National Key R & D Plan on Strategic International Scientific and Technological Innovation Cooperation Special Project(2016YFE0202300); the Key Projects of Consultation and Research of the Chinese Academy of Engineering(2020ZD16); the National Natural Science Foundation of China(41771454); Innovation Group of the Natural Science Foundation of Hubei Province(2018CFA007).

引文格式: LI Deren, SHAO Zhenfeng, YU Wenbo, et al. Public Epidemic Prevention and Control Services Based on Big Data of Spatiotemporal Location Make Cities more Smart[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(4):475-488. DOI:10.13203/j.whugis20200145(李德仁, 邵振峰, 于文博, 等. 基于时空位置大数据的公共疫情防控服务让城市更智慧[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(4):475-488. DOI:10.13203/j.whugis20200145)