

一种基于相关性分析的地图匹配方法

李志华 李训铭 沈祖诒

(河海大学电气工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:为了改善机动车导航地图匹配的精度,提出了一种新的基于递推轨迹与候选路径相关性分析的地图匹配方法.为了获得最佳匹配路径,分别计算递推轨迹曲线和候选路径曲线的切向量角,并沿曲线分段计算切向量角的一阶差分,剔除机动车递推轨迹曲线与候选路径曲线间的相对转角,将二维曲线相关问题降为一维曲线的相关问题.基于差分切向量角序列,计算递推轨迹曲线与不同候选路径曲线的相关系数,获得最佳匹配路径.定义具有最大相关系数的路径段为最佳匹配段.实例说明,新的地图匹配的方法对相似候选路径具有正确的分辨能力,对递推数据的随机误差有较强的鲁棒性.

关键词:地图匹配 递推技术 相关系数 机动车导航

中图分类号: TN967.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2008)02-0263-04

近年来,全球定位系统(GPS)与递推技术(DR)组合的导航设备已经广泛地应用于机动车导航,其中一个非常重要的工作就是在数字化的地图上标示当前的机动车位置,为驾驶人员提供导航信息.但是,由于机动车从GPS接收机或递推获得的经纬度坐标与机动车实际位置存在较大的误差,所以需要将带有偏差的坐标与地图上的路径进行匹配,为机动车在地图上找回正确的坐标位置和正确的路径.传统地图匹配的基本思想是利用数字地图,在最新轨迹点坐标的周围寻找最近的路径^[1].1989年,French介绍了一种半定的地图匹配算法^[2-3].1997年,Yilin等描述了概率法和基于模糊逻辑的地图匹配算法^[4-7].这些方法对地图匹配产生了重要影响.可是,这些算法在每次地图匹配过程中,仅仅考虑了单点坐标与候选路径曲线的匹配,没有考虑递推轨迹曲线与候选路径曲线的匹配.最近,Joshi介绍了一种考虑递推轨迹曲线与候选路径曲线匹配的方法,利用递推轨迹曲线与候选路径曲线在对应点的切向量角度差应为常数这一点来判断候选路径曲线是否匹配递推轨迹曲线^[8-9].理论上,该方法考虑了递推轨迹曲线与候选路径曲线的匹配,但由于误差的随机性,它很难被应用到GPS/DR导航系统中去.

本文探讨了一种新的地图匹配方法,即分别评估最后一段递推轨迹曲线与每个候选路径曲线的相关系数,利用最大相关系数确定匹配路径.该方法与其他方法的主要区别在于:用最后一段递推轨迹曲线段代替原来最后一个轨迹点进行地图匹配;用一阶差分剔除机动车递推轨迹曲线与候选路径曲线的相对旋转角,降低了陀螺积累误差的影响,同时避免了二维曲线相关性运算,所以具有更高的精度和运算效率.

1 相关系数与地图匹配新方法

相关系数是1种描述2个随机变量或随机序列相互关系的参数.随机变量 x 和 y 的相关系数定义为

$$\rho = S_{xy} / \sqrt{S_{xx}S_{yy}} \quad (1)$$

式中: S_{xy} —— x 、 y 的协方差; S_{xx} 、 S_{yy} —— x 、 y 的方差. ρ 的值越接近+1表示其线性关系越强,即 x 越大, y 也越大; x 越小, y 也越小^[10].

在机动车组合导航系统中,在GPS失效的情况下,机动车通过陀螺和里程仪递推获得一个带有误差的位置坐标后,地图匹配存在2个问题:(a)数字地图上有许多不同的路径,哪些路径能成为新坐标点的候选路径?(b)在候选路径中,哪一条是正确的路径?在正确路径中,机动车真正坐标位置又是什么?

第1个问题可以通过机动车当前位置和候选路径的连通性解决. 本文考虑第2个问题. 如图1(a)所示, 当机动车从参考点 RP 点经过 B 点到当前机动车位置 CVL 点时, 假设已记录了在 CVL 之前的最后一段陀螺和里程仪推算轨迹 LST_2 (随着参考点 RP 之前航向积累误差不同, 记录轨迹相对实际路径的旋转角可能不同, 因此也可能是图1(a)中 LST_1, LST_3, LST_4), 长度为 L . 根据路径的拓扑结构, 基于 RP 枚举所有连通的路径 ABC, ABD, ABE, ABF 作为候选路径, 如图1(b)所示. 考虑里程仪误差可能造成车辆实际位置前移 ΔL_1 或后移 ΔL_2 , 取 ABC, ABD, ABE, ABF 的长度为 $L + \Delta L_1 + \Delta L_2$. A, C, D, E, F 点的设置依赖参考点 RP , 其中 RP 点到 A 点的长度是 ΔL_1 , 对应轨迹的路径长度取 L , 那么从 RP 到 C, D, E 或 F 点的长度取 $L + \Delta L_2$. 候选路径长度比机动车记录的递推轨迹长度多 $\Delta L_1 + \Delta L_2$. 参考点 RP 对应于机动车最后一段递推轨迹的起点, 并且随新的轨迹增加而后移. 准备好了所有候选路径后, 可以计算机动车递推轨迹曲线与每条候选路径曲线的相似程度, 本文用相关系数来描述. 由于 LST_2 是在机动车通过路径 ABE 时获得的, 一般认为路径 ABE 在形状上应该与 LST_2 最相似, 也就是说最后一段轨迹曲线与实际经过的路径曲线间相关性最大, 这是一对二维曲线相关性问题. 为了避免二维曲线相关性的复杂计算, 本文用递推轨迹曲线与候选路径曲线的切向量角曲线来计算相关性. 基于同一坐标系(如北东坐标系)的算法步骤为 (a) 沿机动车递推轨迹曲线计算切向量, 获得切向量角序列 T_{LST_2} . 图1(b)中带箭头向量示意切向量. (b) 计算候选路径段 ABC, ABD, ABE, ABF 段切向量角, 获得其切向量角序列 $T_{ABC}, T_{ABD}, T_{ABE}, T_{ABF}$ (以机动车最小转弯半径圆弧替代路径交叉锐角, 见图2). (c) 沿曲线等分4条切向量角度曲线, 并用 $S(i) = T(i+1) - T(i)$ 计算相邻2个切向量角的一阶差分 (i 是序列的序号) 以剔除每条曲线的初始旋转角度, 从而产生新的序列 $S_{LST_2}, S_{ABC}, S_{ABD}, S_{ABE}, S_{ABF}$. 图3为一阶差分后的新的切向量角序列.

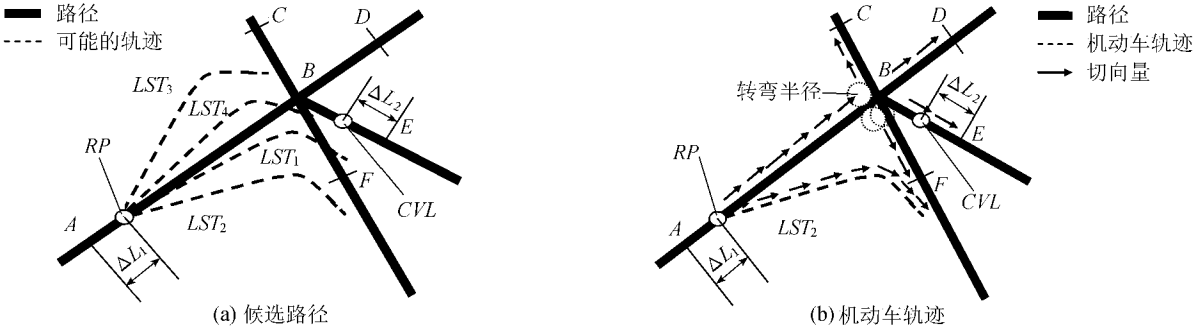


图1 候选路径和机动车推算轨迹

Fig.1 Candidate routes and dead reckoning tracks of vehicle

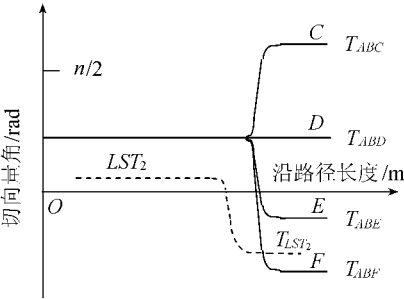


图2 沿曲线方向切向量角序列

Fig.2 Tangent vector angle series along the curve

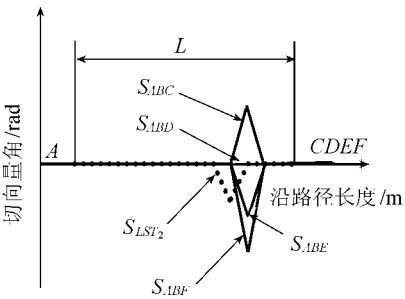


图3 一阶差分后的切向量角序列

Fig.3 Tangent vector angle series after first order difference

为了获得候选路径上的最佳匹配路段, 在图3上, 沿水平轴移动 S_{LST_2} , 每移动一步长计算 S_{LST_2} 和 $S_{ABC}, S_{ABD}, S_{ABE}, S_{ABF}$ 的相关系数. 因为每个候选路径比机动车最后的轨迹长 $\Delta L_1 + \Delta L_2$, 假设 $\Delta L_1 + \Delta L_2 = 100\text{ m}$, 每步长(每等分)是 10 m , 那么, 可以从0到9移动10步, 利用式(2)可以计算得到相关系数序列.

为简单起见, 假设 $\Delta\alpha$ 代表 S_{LST_2} , $\Delta\beta$ 代表 S_{ABC} , 产生相关系数序列 $\rho(\cdot)_{ABC}$

$$\rho(i) = s_{\Delta\alpha\Delta\beta}^i / \sqrt{s_{\Delta\alpha\Delta\alpha}^i s_{\Delta\beta\Delta\beta}^i} \quad (i \in [0, (\Delta L_1 + \Delta L_2) / \text{步长}]) \tag{2}$$

其中

$$s_{\Delta\alpha\Delta\alpha}^i = \sum_{t=1}^L (\Delta\alpha_t - \bar{\Delta\alpha}) (\Delta\alpha_t - \bar{\Delta\alpha})$$
$$s_{\Delta\beta\Delta\beta}^i = \sum_{t=1}^L (\Delta\beta_{i+t} - \bar{\Delta\beta_i}) (\Delta\beta_{i+t} - \bar{\Delta\beta_i})$$
$$s_{\Delta\alpha\Delta\beta}^i = \sum_{t=1}^L (\Delta\alpha_t - \bar{\Delta\alpha}) (\Delta\beta_{i+t} - \bar{\Delta\beta_i})$$

式中： i ——移动步数； $s_{\Delta\alpha\Delta\beta}^i$ —— S_{LST_2} 和 S_{ABC} 的协方差； $s_{\Delta\alpha\Delta\alpha}^i$ —— S_{LST_2} 的方差； $s_{\Delta\beta\Delta\beta}^i$ —— S_{ABC} 的方差； $\bar{\Delta\alpha}$ ， $\bar{\Delta\beta_i}$ ——均值。

同样可以计算出相关系数 $\rho(\cdot)_{ABD}$ ， $\rho(\cdot)_{ABE}$ ， $\rho(\cdot)_{ABF}$ 。图 4 为这些相关系数曲线。比较所有相关系数，具有最大相关系数路径为最匹配路径。图 4 中，最大相关系数在 $\rho(\cdot)_{ABE}$ 中，所以候选路径 ABE 与 LST_2 最匹配。从图 4 还可以看出，移动第 k 步后相关系数达到最大，这点称为最佳匹配点。定义紧接在后面的一段路径为最佳匹配段。这个方法的显著特点是它在匹配时不仅考虑了最新轨迹点与候选路径的关系，而且也考虑了在这点之前的一段轨迹与候选路径的关系。

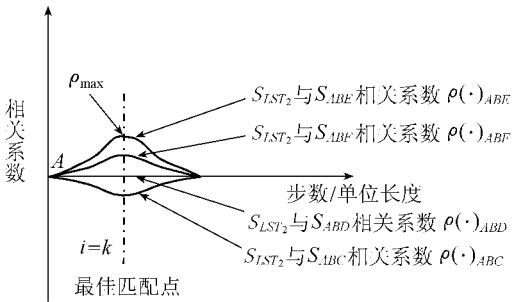


图 4 相关系数序列

Fig.4 Correlation coefficient series

2 地图匹配的测试实例

图 5 (a) 为位于香港岛山脚与皇后大道之间的街道网络，该街道上 GPS 信号被周围高楼阻挡，机动车坐标只能通过里程仪和陀螺仪递推获得。圆点表示无 GPS 接收机信号获得的递推轨迹。该路段用传统的地图匹配方法很难匹配，因为路径 ABC 段与 ABD 段相似，而应用本文的新方法可以正确地匹配。

为简单起见，将数字地图上原始的经纬度转换成北东方向相对位置坐标，取刚离开车道的递推轨迹 21 个点作为最后的机动车轨迹（点间距离（或步长）约 23 m）。取 ABC 和 ABD 作为候选路径。图 5 (b) 为简化后的该段路径和轨迹。

根据新方法 (a) 将曲线 AE ， ABC ， ABD 划分成等间隔的小段，然后分别计算他们的切向量角（图 5 (c)）。(b) 沿横轴步数求切向量角序列的一阶差分，获得差分后的切向量角序列 S_{AE} ， S_{ABC} ， S_{ABD} （图 5 (d)）。(c) 在图 5

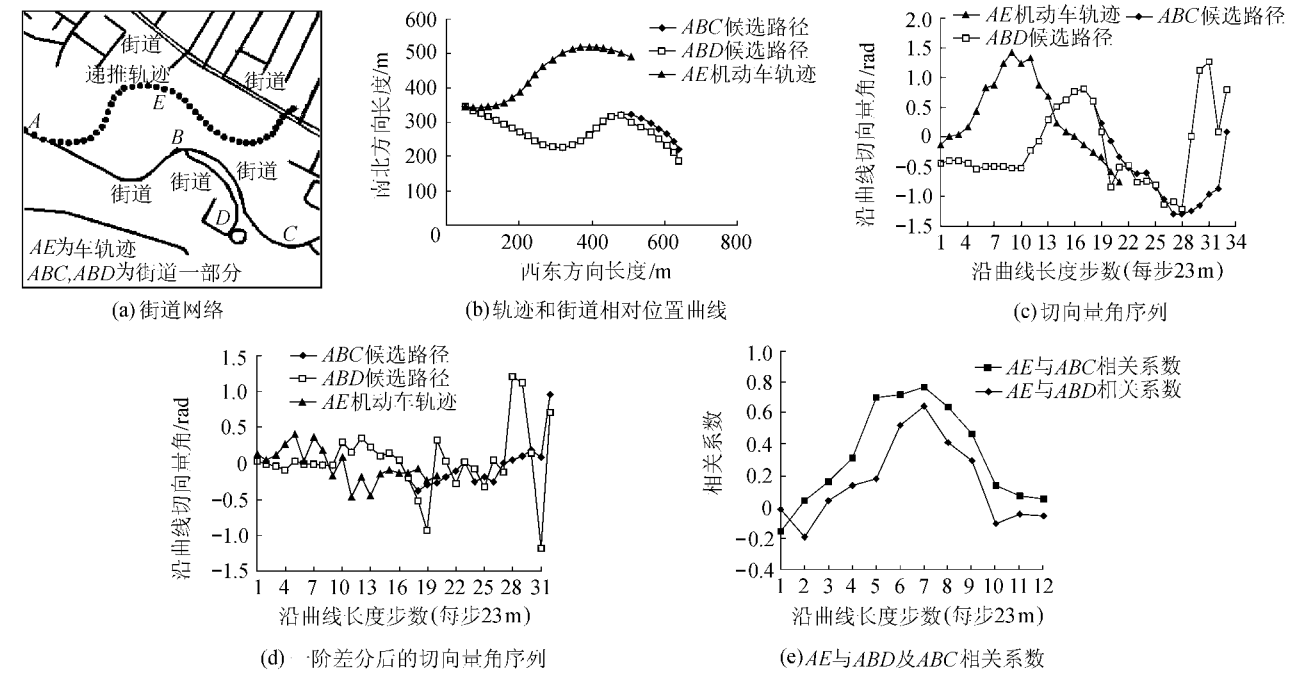


图 5 香港岛部分街区

Fig.5 Part of the streets in Hongkong Island

(d)上移动序列 AE 从 0 到 12 ,分别计算序列 AE 与序列 ABC , ABD 的相关系数 ,得到序列 AE 与 ABD 和 ABC 相关系数序列 (见图 5(e)).从图 5(e)可以看出 , AE 与 ABC 相关系数最大 ,所以曲线 ABC 与 AE 匹配 ;并且移动 8 步达到最佳匹配 ,匹配结果与实际相符.

3 结 论

本文介绍了一种利用车辆轨迹曲线与候选路径曲线相关系数进行地图匹配的新方法.该方法利用最大相关系数来寻找最佳匹配候选路径 ,利用一阶差分去除机动车递推轨迹曲线与候选路径曲线的相对旋转角 ,使得二维曲线相关问题降为一维曲线相关问题.实例说明 ,新的地图匹配方法对路径形状相似的交叉路口的候选路径有较强的分辨能力和较好的匹配能力 ,能够将机动车轨迹匹配到正确的路径.

参考文献 :

- [1] KIM W ,JEE G ,JEE J. Efficient use of digital road map in various positioning for ITS[C]//Position Location and Navigation Symposium. San Diego :IEEE 2000 ,2000 :170-176.
- [2] FRENCH R L. Map matching origins ,approaches and application[R]. Munster :Second International Symposium on Land Vehicle Navigation ,1989 :91-116.
- [3] PARKINSON B W ,SPILKER J J. Globale positioning system :theory and applications II[M]. Washington D C :American Institute of Aeronautics and Astronautics ,1996 :275-299.
- [4] ZHAO Yin-lin. Vehicle location and navigation system[M]. Norwood :Artech House ,1997.
- [5] KIM S ,KIM J H. Adaptive fuzzy-network-based C-measure map-matching algorithm for car navigation system[J]. Industrial Electronics , IEEE Transactions ,2001 ,48(2) :432-441.
- [6] 罗锡文 ,周志艳 ,李庆 ,等.基于地图匹配的导航定位数据模糊校正算法[J].江苏大学学报 :自然科学版 ,2006 ,27(5) :396-400.
- [7] 周培德 ,付梦印.地图匹配的新算法[J].北京理工大学学报 ,2004 ,24(3) :238-240.
- [8] JOSHI R R. Novel metrics for map-matching in in-vehicle navigation systems :the rotational variation metric[C]//Intelligent Vehicle Symposium. Versailles :IEEE Service Center ,2002 :36-43.
- [9] JOSHI R R. A new approach to map matching for in-vehicle navigation systems :the rotational variation metric[C]//Intelligent Transportation Systems. Oakland Marriott City :IEEE Service Center ,2001 :33-38.
- [10] 白富志 ,张贵恩.概率论与数理统计[M].北京 :机械工业出版社 ,2000 :83.

A map matching algorithm based on correlation analysis

LI Zhi-hua , LI Xun-ming , SHEN Zu-yi

(College of Electrical Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : A map matching method based on correlation analysis of dead reckoning tracks and candidate routes was proposed in order to improve map matching precision in vehicle navigation. To find the best matching route , the curve tangent vector angles of the tracks and candidate routes were calculated and one-order differentiated along the different sections of the curves. By eliminating the relative rotation angle of tracks and all candidate route curves , the 2D-curve related problems were simplified to one dimension. The best match route were determined based on the correlation coefficients from the tangent vector angle series after first order difference , and the route segment corresponding to the maximum correlation coefficient was defined as the best match segment (BMS). A case study shows that the map matching method can differentiate similar candidate routes correctly and has high robustness in terms of random error of the dead reckoning data.

Key words : map matching ; dead reckoning technique ; correlation coefficient ; vehicle navigation