

基于距离准则的地图匹配算法研究

A Distance-Rule Based Map Matching Algorithm

崔晓东¹ 郑玉华²

(1. 天津城市建设学院管理工程系, 天津 300384; 2. 天津城市建设学院土木工程系, 天津 300384)

CUI Xiaodong¹, ZHENG Yuhua²

(1. Department of Management Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China ; 2. Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

摘要: 为了弥补车辆导航中位置点匹配算法的不足, 对轨迹曲线匹配的思想进行了必要的介绍, 并重点从距离要素出发, 对匹配准则进行了研究。在分析了各种常见距离定义的不足后, 提出了基于面积法的距离匹配准则, 并对距离准则的算法设计和适用性进行了详细的分析和描述。结论表明, 采用该算法后的总体定位精度优于GPS的定位精度, 算法准确性也比位置点匹配高。

Abstract: In order to improve the point-matching algorithm in vehicle navigation systems, this paper introduces as a basis the idea of trace-curve matching, and explores the matching principles by focusing on the main distance factors. According to an analysis of the shortcomings of the normal distance definitions, the paper proposes an area-based distance matching standard, and describes in detail the design algorithm of the distance matching standard and its applicability. It is concluded that the total positioning preciseness of the proposed algorithm is better than that of the GPS methods, and the accuracy of the algorithm is higher compared with that of the point matching.

关键词: 车辆导航; GPS; 地图匹配; 距离; 面积法

Key words: vehicle navigation system; GPS; map-matching; distance; area measurement

中图分类号: U491 文献标识码: A

收稿日期: 2005-09-19

作者简介: 崔晓东, 女, 硕士, 天津城市建设学院教师, 助教。主要研究方向: 地理信息系统。E-mail: cxd2001007@sohu.com

车辆导航一般采用全球定位系统(GPS)和推算定位系统(DR)这两大硬件技术, 同时, 引入地图匹配算法。已有较多的文献对地图匹配算法进行了研究, 并形成了直接投影法、概率统计法和模糊逻辑法等常用算法^[1-2], 但这些方法均属于位置点匹配, 只是利用了车辆当前时刻的定位信息, 而没有考虑车辆行驶的历史信息或者只是简单地利用这一信息。信息量的不足, 导致在道路密集、道路形状复杂和道路交叉口等复杂地段的匹配准确率不高。为了获取更丰富的信息量, 更加有效地提高匹配算法的准确性, 充分利用车辆定位的历史信息, 研究轨迹曲线匹配算法是必要的。事实上, 也有文献对此作过研究^[3-4], 相关性算法是目前轨迹匹配中运用较多的一种算法。它运用时序模型, 计算车辆实际行走曲线与地图数据各候选路线的相关性系数, 与实际定位路线相关性最高的路段即为车辆行驶的真实路线。已有研究表明: 虽然此算法能取得一定的效果, 但很容易造成定位轨迹与两条候选路线相关性相差不大的情况, 使实际行驶路线无法确定。另外, 此算法有较宽的峰值, 存在着较大的缺陷。因此, 对轨迹曲线匹配算法作进一步分析, 具有一定的实用价值。

1 轨迹曲线匹配思想

由于定位误差的影响, 车辆在各时刻的定位点形成的轨迹不可能与地图中的路段一一对应, 对应于数字地图上可能有多条行驶路线。轨迹曲线匹配的目标是将车辆历史行驶轨迹与数字地图中存储的道路数据相比较, 寻求合理的匹配算法, 确定车辆所在的道路, 并且显示出车辆的实时位置。具体的匹配过程为:

1) 获取车辆当前定位点 P , 并取出 N 个最近定位记录, 按时间顺

序连接定位点形成曲线段 l 。为了尽可能保证匹配结果的实时、准确和快速, N 值的大小结合系统采样的时间间隔确定, 在采样周期为1 s的定位系统中一般可取 $N \geq 10$ 。

2) 确定与曲线 l 距离为 R 的缓冲区 $Buffer(l, R)$ ^[5], 其中, R 为定位误差值, 在缓冲区内搜索所有道路路段, 记入集合 S 。在GPS/DR组合导航中, GPS接收机的定位误差约为15~20 m, 考虑到环境因素对定位精度的影响, 选取 $R=20$ 或30 m, 在精度更差的地段, 可选取 $R=40$ m; 而在推算定位中, 定位点的精度取决于GPS起算点的误差和DR系统本身的误差, 选取的 R 值应适当增大, 这样, 选取的缓冲区域既能保证覆盖车辆的行车路线, 又最大限度地降低了计算量和误判概率。

3) 在数字地图数据库中, 根据路段编码和拓扑原则, 在集合 S 中确定候选道路, 并将候选道路的各路段组合, 形成唯一编码的候选路径。在选择候选路径时, 结合车辆行驶方向预先滤除与实际行驶方向明显不匹配的路段, 以降低算法的复杂程度。

4) 各候选路径根据一定的准则, 与曲线进行匹配, 将求得的最佳匹配路段作为当前行车路线。计算当前定位点 P 在行车路线上的投影点, 该点即为修正后的匹配点。

2 轨迹曲线匹配的距离准则分析

从距离要素的角度考察车辆定位轨迹与候选路径之间的匹配程度, 一个最重要的原因, 就是对轨迹曲线匹配而言, 定位曲线和数字地图上的真实行走路线之间的距离应该比较短。事实上, 如果两条曲线的点集完全重合, 那么这两条曲线是严格匹配的, 那么不论采用何种定义, 两条线之间的距离都为零。由于定位误差的存在, 轨迹曲线不可能与候选路段之间严格匹配, 现在的目标就是寻求一种合理的定义方式, 使客观上两条匹配的线段之间的确有较小的距离, 以保证距离准则的可靠性。

很多学科的文獻都研究了线之间的距离测度。以下对几种常见的距离定义进行分析, 寻求建立距离准则的可能性。

1) 最短距离

两条线 A 和 B 之间的最短距离定义为:

$$\|A-B\| = \min_{a \in A, b \in B} \|a-b\| \quad (1)$$

这种距离定义方式本质上是将线看成是点集的集合, 通过点的欧氏距离来定义线的距离。但此种定义方式应用在地图匹配中不太合理。如图1所示, 假设车辆实际行驶在路线 L_1 上, 但由于定位轨迹 l 上有一点近似于位于 L_2 上, 如果在轨迹匹配时采用最短距离定义方式, 显然会使得 l 与 L_2 匹配, 得出错误的结果。

2) 平均距离

平均距离定义为:

$$\|A-B\| = \int_0^1 \|a(t)-b(t)\| dt \quad (2)$$

其中, $a(t)$, $b(t)$ 分别为曲线 A 和 B 的参数化描述(即将道路参数化), t 的取值范围为 $[0, 1]$ 。此种定义方式在地图匹配中同样会造成误匹配。如图2所示, 道路 L_1 参数化为 $a(t)=(6t, 6)$, 道路 L_2 参数化为 $b(t)=(3, 6t)$, 定位点轨迹参数化为 $P(t)=(6t, 3)$, 其中 $t \in [0, 1]$, 则 $\|P-L_1\|=3$, 而 $\|P-L_2\|=\frac{3}{\sqrt{2}} \leq 3$ 。按照定位轨迹与匹配路段之间距离应该较短的原则, 造成事实上应与 L_1 匹配的定位轨迹曲线 l 却与 L_2 匹配, 从而出现错误。

3) Hausdorff距离

如图3所示, 设有两条曲线 l 和 L_1 , d_1 为曲线 l 上各点到曲线 L_1 的最短距离中的最大值, 同样 d_2 为曲线 L_1 上各点到曲线 l 的最短距离中的最大值, 则 l 与 L_1 的Hausdorff距离 d_H 定义为^[6]:

$$d_H = \max(d_1, d_2) \quad (3)$$

用Hausdorff距离作为线之间距离度量指标的主要优点是它反映了曲线之间的整体距离, 比单纯的欧氏距离更合理。但要精确计算任意两条线之间的Hausdorff距离要考虑的情况比较多, 算法设计复杂, 目前还没有一种通用的、精确的能用来计算任意折线之间的Hausdorff距离的算法。另外, Hausdorff距离对其中一条线有长尾巴的情况比较敏感, 如果事实上匹配的两条曲线长度相差较大, 则按此距离计算会造成误匹配; 而且, 由于此距离定义只考虑了最大距离值, 若一条线上存在不规则的波动, 也容易造成匹配失败。如图4所示, 曲线 L_1 不规则的波动使Hausdorff距离并不能反映出曲线之间真实的匹配关系。而在车辆定位中, 由于GPS的接收误差, 以及环境因素的影响, 定位点的波动

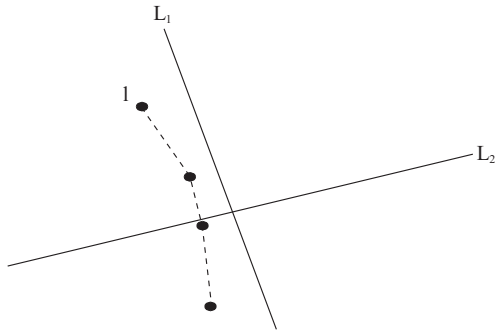


图1 最短距离定义的缺点

Fig.1 The limitation of the shortest distance definition

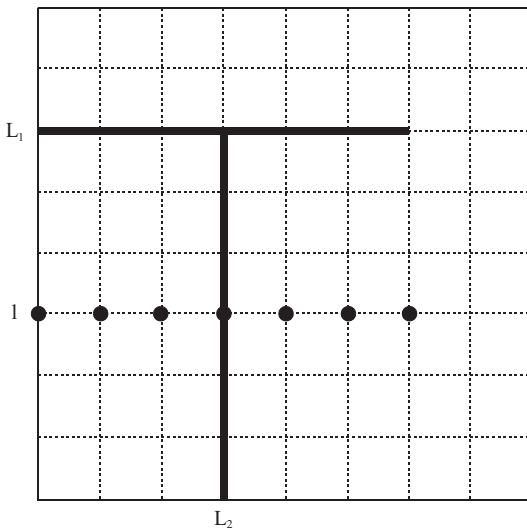


图2 平均距离定义的缺点

Fig.2 The limitation of the average distance definition

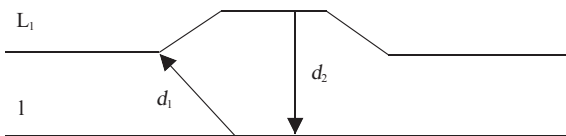


图3 两条线之间的Hausdorff 距离定义

Fig.3 The Hausdorff distance definition between two lines

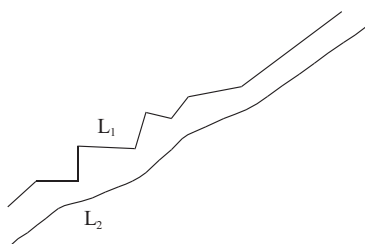


图4 不规则的波动对Hausdorff 距离的影响

Fig.4 The influences of the unregulated oscillations on the Hausdorff distance

是不可能避免的。

除了以上提到的几种定义外，其他的距离定义也都存在相应的问题。从车辆轨迹匹配的实用角度出发，定位轨迹与候选路段之间的距离度量指标应该满足以下4个条件：

① 能够识别两条线之间整体相近时的情况，即反映了整体的最大距离；

② 车辆定位点由于环境因素的随机性影响而产生不规则波动时，距离度量值具有一定的稳定性和有效性；

③ 定位轨迹点和候选路径的长度有一定的差异时，距离指标应能客观反应出曲线之间的接近程度；

④ 距离容易计算，算法易于实现。

显然Hausdorff距离等已有的距离定义方法并不能直接满足以上要求，不能保证地图匹配的有效性。

3 基于面积法的距离准则

尽管线与线之间距离的定义和计算比较困难，但是基于距离要素建立匹配准则又是非常重要的。本文提出用制图学中的面积法来计算定位轨迹曲线和数字地图上各候选路径之间的距离，并由此确定轨迹匹配的距离准则，从而根据距离的大小确定与定位轨迹点匹配的某条候选路径。

两条线 L_1 和 L_2 之间基于面积法的距离定义^[7-8]为：

$$d = S/L, \quad (4)$$

其中， S 为两条线相应首尾节点连接后围成的多边形的面积， L 为两条线的平均长度。显然两条线相距越远，所围成的面积值越大，由式(4)计算的距离值也越大。

对于GPS定位点和基于矢量形式的数字地图空间数据，线状要素的长度 L 可以根据点与点之间的直线距离累加来计算：

$$L = \sum_{i=1}^n ((x_{i+1}-x_i)^2 + (y_{i+1}-y_i)^2)^{1/2}. \quad (5)$$

多边形面积 S 视为面状地物，以其轮廓边界弧段构成的多边形表示。如果两条线之间存在相交的情况，则将凹多边形分割成凸多边形，对于每个凸多边形，设有 N 个顶点，其面积计算公式为：

$$S = \left| \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^{N-2} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) + (x_N y_1 - x_1 y_N) \right) \right|. \quad (6)$$

如图5所示，对于 l 与 L_1 围成的面积应为两个阴影部分的面积之和，其中，每个阴影部分的面积均取正值。

用面积法确定两条线的距离时，若简单地按照上述定义

来评价匹配相似度,并不能得到很好的匹配效果,距离对一条线存在长尾巴的情况仍然过于敏感。如图6所示,如果定位轨迹和道路路段两条曲线是匹配的,但当道路路段的始末结点与第一个或最后一个定位点的距离相距较远时,则两条线长度相差较大,两条线围成的面积也就变得很大,在一定程度上增加了距离

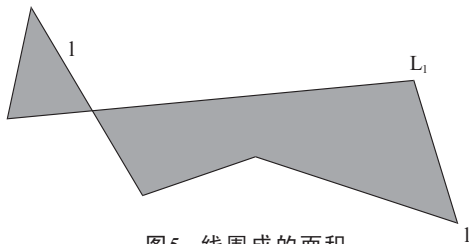


图5 线围成的面积

Fig.5 Area encircled with lines

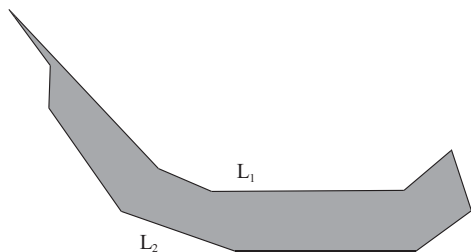


图6 一条线有长尾巴的情况

Fig.6 A case with a long-tail line

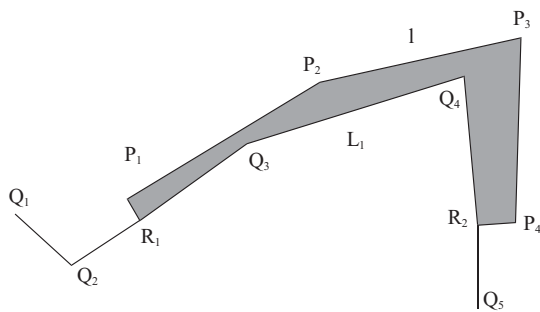


图7 修正算法重新定义线对象和面积

Fig.7 Redefinition of lines and areas

表1 匹配度统计结果

Tab.1 Statistics of matching quality

道路状况	轨迹曲线路段数量/条	匹配度/%
直线段	500	92.5
十字交叉口	250	87.9
畸形交叉口	300	79.5

注:轨迹曲线路段数量统计时剔除了GPS坏点,且含有一定的舍入误差。

度量值,得出两条曲线并不匹配的错误结论。为了保证距离准则能客观地衡量线之间的接近程度,必须对基于面积法计算两条线之间的距离进行修正。

如图7所示,设 l 为定位轨迹曲线, L_1 为候选路段,修正方法及算法实现可概括为:①轨迹曲线 l 的首端点 P_1 向候选路段 L_1 作投影,获得投影点 R_1 来代替 Q_1 ;②轨迹曲线的尾端点 P_m 向候选路段 L_1 作投影,获得投影点 R_2 来代替 Q_m ;③重新生成车辆定位轨迹曲线和各候选路径;④运用基于面积法的距离定义计算定位轨迹曲线与各候选路径之间的距离值;⑤比较距离值的大小,较小的距离所对应的候选路径即为车辆的行走路线;⑥定位点向确定的候选路径的投影点即为车辆当前位置。

以上修正方法中,不是简单地将两条线的首尾点相连,而是经过投影算法,重新定义两条线围成的面积(图7阴影部分的面积)。与此同时,所研究的线对象也发生了相应变化,对线 l 和 L_1 的匹配研究转变为对线 P_1P_4 和 R_1R_2 的匹配研究,路线的长度发生了变化。运用投影算法,重新定义面积和长度,确定定位轨迹与候选路段的距离,具有很明显的优点:

①重新定义的两条线的长度趋于相近。如果车辆行驶在某条道路上,则由距离传感器测量得到的定位点轨迹长度与实际道路上的匹配长度应该是相近的。线的重新定义正好体现出了这一原则,同时也避免了研究两条线的部分匹配,降低了算法的复杂程度;

②面积的定义真实地反映了它对匹配度量的贡献。重新定义两条匹配曲线,不会出现某条曲线存在长尾巴的情形,两条线之间的面积大小能更客观地反映出线的匹配度;

③基于面积计算的距离既对两条线之间的整体距离进行了描述,又对局部定位点的波动不敏感,这在车辆轨迹匹配中具有很重要的意义。

通过以上讨论,从理论上建立了基于面积法的距离定义方式,以距离为准则,可用于车辆轨迹曲线的匹配。距离准则的理论基础是,虽然定位点存在着误差,但从统计意义上说,其大小局限在一定的范围之内,定位点形成的轨迹不应该偏离实际道路太远,在道路实际位置附近呈波动状态,因此,轨迹与实际路

线之间基于面积的距离也应该较小。如果距离较小,则两条线匹配的可能性大,反之,匹配的可能性就小。

4 试验结果分析及结论

为验证该算法的性能,利用车载GPS接收数据对算法进行仿真(数据来源于南京城区西康路至新街口段),其中GPS数据每1 s更新一次, N 取10。表1给出了在不同道路状况下由轨迹曲线匹配算法得到的匹配度统计结果。

试验表明,采用该算法后的总体定位精度大致能达到90%,优于GPS的定位精度,算法准确性也比位置点匹配要高。相关结论为:

① 算法在多种路况下能够匹配出正确的道路,获得比位置点匹配更高的准确度。特别是在桥梁、隧道等GPS信号不好的地方和道路交叉口处,该算法克服了位置点匹配较为混乱的缺点。

② 当道路特征较为简单,方向相差不大时,运用基于面积法的距离准则,匹配效果较好,特别是对于平行道路,匹配效果更为理想。

结果表明,在定位精度较低、道路特征复杂时,充分利用历史定位结果,采用基于距离准则的轨迹曲线匹配方法,可进一步改善匹配结果的准确性和可靠性。用面积法计算两条线之间的距离的优点在于距离测度符合人的视觉效果,既考虑了两条线整体的位置偏差,又对局部位置点的波动不敏感。

同时,运用距离准则进行地图匹配也存在一些问题,例如,其算法实现较位置点匹配复杂,实时性相

对较差。另外,面积法忽视路线的形状特征信息,如果面积和平均长度都较接近,单纯运用此准则会出现无法匹配或误匹配的现象。为了保证匹配的可靠性,牺牲一定的实时性是必要的,而对于局部道路特征过于复杂而出现的无法匹配、误匹配情况,应与位置点匹配相结合,或者从定位轨迹与候选路段的方向特征出发,研究方向匹配准则的可行性。

参考文献

- 1 苏洁,周东方,岳春生.GPS 车辆导航中的实时地图匹配算法 [J].测绘学报,2001,30(6):252~255
- 2 彭飞,柳重堪,张其善.基于代价函数的组合导航系统地图匹配算法 [J].北京航空航天大学学报,2002,28(6):261~263
- 3 赵凯,杨育红,曲保章.基于位置点匹配的GPS/DR 组合导航系统地图匹配算法 [J].制导与引信,2003,24(6):22~27
- 4 钟海丽,童瑞华,李军,陈宏盛.GPS 定位与地图匹配方法研究 [J].小型微型计算机系统,2003,24(1):109~113
- 5 Zhao Yilin .Vehicle Location and Navigation Systems [M]. Norwood: Arctech House Inc . 1997
- 6 张桥平,李德仁,龚健雅.地图合并技术 [J].测绘通报,2001,(7):6~8
- 7 郭仁忠.空间分析 [M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1998
- 8 周培德.计算几何——算法分析与设计 [M].北京:清华大学出版社,1999

第六届交通运输领域国际学术会议

交通运输国际学术会议是国内交通运输领域最为重要的学术会议之一,自2001年起由中国旅美交通学会(NACOTA: North America Chinese Transportation Association)发起并与同济大学、东南大学等校联合举办,为加强海内外交通运输领域学者的学术交流,探讨中国交通运输可持续发展战略提供了学术讨论平台。

该会议已成功举办了五届,先后得到了教育部、铁道部、交通部、国家自然科学基金委员会、王宽诚教育基金会等单位的支持与资助。大连理工大学、大连交通大学、中国旅美交通学会决定2006年6月23—26日在大连联合举办“第六届交通运输领域国际学术会议”。本次会议主题定为“交通与物流”。