

GPS 轨迹数据纠偏方法研究

谢博晖, 吴健平

(华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要:目前 GPS 技术被广泛应用在各个定位和导航中,但是由于 GPS 系统存在一定的误差,需要通过地图匹配算法将 GPS 定位数据结合电子地图进行纠正匹配,以提高 GPS 定位精度。文中通过缓冲区分析获取待匹配道路集合,利用路网拓扑结构,筛选出其中拓扑不相关的匹配道路,同时根据最小距离原则,从多条待匹配道路中找到正确道路。除此之外,文中针对其中由于信号缺失或者定位误差所造成的不连续位置,将其分解成多条连续集合,使道路匹配更加合理。对实际 GPS 轨迹数据处理结果表明,该方法在复杂路网中有较好的匹配效果、效率较高,具有实用价值。

关键词:地图匹配;拓扑结构;全球定位系统

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)07-0223-04

Research of Map Matching Method for GPS Tracking Data

XIE Bo-hui, WU Jian-ping

(Ministry of Education Key Lab of Geographic Information Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: GPS technology is now widely used in GPS systems. But because there are some positioning errors, it's necessary to relocate the GPS data by using map-matching algorithm to improve GPS positioning accuracy. In this paper, first of all, obtain the matched set of roads by buffer analysis, then filter out the useless road set by the use of network topology. While according to the principle of minimum distance, find the correct path. In addition, because of the existence of the missing or non-consecutive locations, it can divide into a number of continuous road sets to improve the accuracy of map-matching result. The effectiveness and applicability of this map matching algorithm is demonstrated by real road experiments.

Key words: map matching; topology structure; GPS

0 引言

全球定位系统(Global Position System, GPS)是利用卫星,在全球范围内实时进行定位、导航的系统,其成熟和发展为各类运动载体的精确定位提供了有力保障。由于城市交通复杂, GPS 定位数据匹配率不高以及实时性较差,影响了 GPS 在车辆导航定位中的应用^[1]。在车辆导航定位系统中,通常采用差分技术、航位推算等方法来提高 GPS 定位精度,以满足车辆精确位置以及实时定位匹配等系统功能的需求,但是这些方法技术实现比较复杂、成本比较高^[2-4]。地图匹配是一种 GPS 定位数据修正方法,其主要作用是将获得的车辆定位信息与电子地图的道路数据进行匹配,减少或者消除各种误差,从而实现了车辆的精确定位,改

善导航定位系统性能^[5]。

现在主要通过两种途径来提高地图匹配的精度:一是通过差分技术、航位推算等方法来消除噪声,提高 GPS 定位点的精度;二是通过道路匹配算法,选取多条匹配道路,并将 GPS 定位点匹配到可能性最大的待匹配道路上^[6]。

针对第二种途径,最关键的是要找到正确的匹配道路。现在寻找匹配道路的算法主要有相似度算法和模糊逻辑算法。相似度算法通过判断待匹配位置与 GPS 定位点的相似度,接着对所有待匹配道路的相应匹配位置进行累加计算,将其结果作为待匹配路段与定位轨迹的相似度,最后取相似度最大的道路作为匹配结果^[7];模糊逻辑算法主要是结合模式识别,建立道路匹配模式,利用模糊综合评价模型,最终从多条候选道路作综合评价,从而找到最可能匹配的道路。

然而,上述两种算法也存在一些不足之处,主要有:

(1)模糊逻辑算法中的综合评价模型主要依靠三个方面的因素,有距离因素、方向因素和连通性因素

收稿日期:2011-12-01;修回日期:2012-03-06

基金项目:上海市科研计划项目(09JC0500300)

作者简介:谢博晖(1987-),男,福建宁德人,硕士研究生,研究方向为 GIS 应用与开发;吴健平,博士,教授,博导,研究方向为 GIS 应用与开发。

等,作为其度量标准。其中方向因素可以用来表示行驶方向与电子地图中道路走向的角度差异性^[8-10]。但是,由于制作或者购买专业导航电子地图成本较大,一般用于地图匹配的地图不具备道路走向信息。同时各个传感器在方向灵敏度存在差异,获取的 GPS 定位信息也可能无法回传车辆方向信息或者回传的方向信息有较大误差,其限制了模糊逻辑算法的实现^[11]。除此之外,模糊逻辑算法中每个因素的重要性需要赋予不同的权重值。此时多凭经验确定,缺乏科学的选择标准。

(2)以 GPS 定位轨迹与待匹配路段的相似度作为主要因素的匹配算法中,将多条备选道路中与道路网络进行匹配,选取其中相似度最大的一条作为匹配结果。现有相似度匹配算法大多数运用距离运算来衡量 GPS 定位轨迹与待匹配路段的相似度,其计算过程比较复杂,计算耗时比较长^[12]。同时,相似度算法在复杂路网情况下匹配精度较低,而且其结果可能不符合拓扑结构等。

基于以上思想,文中提出一种基于路网拓扑结构的地图匹配算法。

1 算法基本思想

文中路网拓扑结构关系主要指两条路径之间具有直接几何关系。例如,在 ESRI COM 组件模型 ArcObjects 中,两条线存在多种拓扑关系,有交叉(Cross)、邻接(Touch)、包含(Contain)等。

文中主要考虑两条路径之间的邻接关系,如图 1 所示:

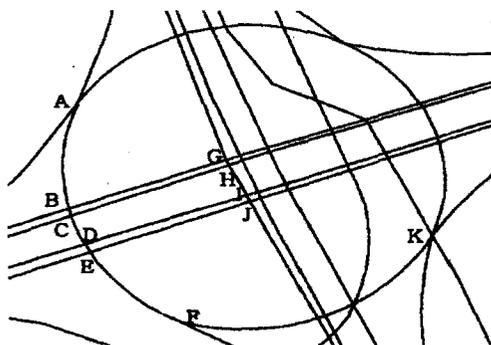


图 1 路网拓扑结构示意图

路径 AF 与路径 FK 存在邻接关系,而路径 AF 与路径 BG、CH、DI、EJ 存在交叉关系。因此为了便于道路匹配,参与匹配计算的地图层应该根据实际情况进行道路等级划分以及标识道路性质(如高架、匝道、

地面道路等),同时对于立交桥等实际上并不相交的特殊情况,该交叉点不能为任一路径的节点。

当车辆行驶在道路上时,以该车辆某时刻 GPS 定位点为中心,最大误差范围加上道路路宽作缓冲区半径,则可以在道路中心线图中找到可能匹配的一条或者多条待选路径。其中必定有一条道路为车辆正确行驶的道路。

文中将车辆行驶状态分为三个情况来分析:

第一种情况:当车辆行驶在高架或者道路交叉处等复杂道路网时,文中通过道路之间的拓扑结构来判断车辆行驶的正确道路。如图 2 所示:

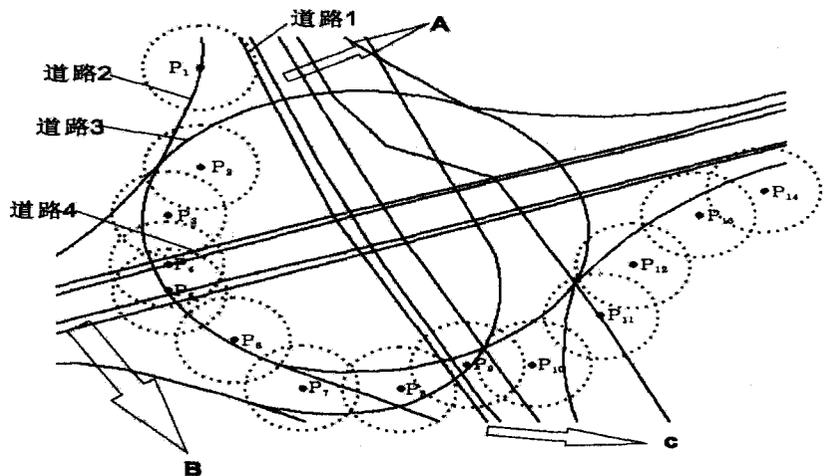


图 2 高架复杂路段地图匹配示意图

图 2 中 A、B、C 三个区域都是极易匹配错误的区域,但是通过道路之间的拓扑结构关系就可以明显排除高架地面道路以及高架分叉路口等道路。例如,以 GPS 定位点 P_1 为中心,最大误差范围加上道路路宽作为缓冲区半径,可以得到道路 1 和道路 2 作为 P_1 的待选路径。同理, P_2 点的待选路段有道路 2 和道路 3, P_3 点的待选路段有道路 2、道路 3 和道路 4。假设, GPS 定位点 P_1 的正确匹配道路存在于其待选路径集合中,则 GPS 定位点 P_2 的正确匹配道路必然存在于 P_1 的待选路径集合或者与其待选路径有拓扑结构关系的路径集合中。由此可得, P_2 的待选路径集合中道路 3 不符合要求。以此类推, P_3 的待选路径只有道路 2 符合要求。由于 GPS 定位点的正确匹配道路的确定可以参考之后连续的 GPS 定位点的匹配信息,可以得到 P_1 的正确匹配道路是道路 1。综上所述,该高架区域的 GPS 定位点的匹配道路为道路 2。

第二种情况:当车辆行驶在高架等平行路段时,也容易发生匹配误差。如图 3 所示,车辆行驶于高架上,其中有部分车辆 GPS 定位点偏移 to 高架反向车道上,同时地面道路也对 GPS 定位点的地图匹配产生影响。文中先通过道路拓扑结构将地面道路排除出待选路径

集合,接着统计该路段 GPS 定位点到待选路径集合中各道路的垂直距离。通过比较到各个待选路径的平均距离的大小来决定该平行路段 GPS 定位点的正确匹配道路。



图3 平行路段地图匹配示意图

第三种情况:当车辆行驶在隧道或者车辆的 GPS 信号丢失时,车辆定位点会发生跳跃,如果按照传统的地图匹配方式容易产生误差,如图4所示:



图4 车辆 GPS 信号丢失情况示意图

从图4中可以明显看出有2个GPS定位点断层存在,比如 P_1 点到 P_2 点之间, P_3 点到 P_4 点之间,最大时间间隔有15秒。当GPS定位点之间的时间间隔变大时,两点之间的空间相关性就越小。文中通过判断GPS定位点之间的拓扑结构以及两者的时间间隔来确定GPS定位点之间是否存在断层。同时,文中将存在断层的GPS定位点划分为两条独立的行驶路线,进行分别计算,从而减少了由于信号丢失等原因造成的匹配误差。

2 算法实现

为了描述算法,给出如下定义:

(1) 确定点:对GPS定位点 P_i 作缓冲区分析,以GPS最大误差范围加道路路宽为缓冲区半径搜索道路,若仅获得一条待选道路,或者获得多条待选道路,但通过路网拓扑结构筛选后可得到唯一一条可匹配的道路,将此GPS定位点 P_i 成为确定点。

(2) 确定道路:在电子地图中,确定点 P_i 的匹配道路为 r_i ,将匹配道路 r_i 称之为确定道路。

(3) 待选路径集合 R_i :集合 R 中的元素是由GPS定位点 P_i 通过缓冲区分析获得的各匹配道路组成,且对于 R 中的每一条路径 r_i 需要满足,GPS定位点 P_i 以GPS最大误差范围加道路宽度为半径搜索路径,必定

能搜索到 r_i 。

(4) 全局路径匹配集合 W :将GPS定位点 P_i 以及由 P_i 获得的待选路径集合 R_i ,组合成为全局路径匹配集合的元素,以便道路的筛选。

(5) 异常点集合 E :对GPS定位点 P_i 以 P_i 为中心,GPS最大误差加道路宽度为半径作缓冲区分析搜索道路,若该GPS定位点 P_i 没有获得待匹配道路,则将GPS定位点 P_i 加入到异常点集合 E 中。异常点集合 E 可以用于了解GPS定位点的误差情况。

算法实现步骤如下:

步骤1 初始化程序,获得GPS定位点 $P_i(X_i, Y_i)$ 。

步骤2 以 P_i 点为中心,GPS最大误差范围加道路宽度为半径作缓冲区分析,搜索道路中心线图层,若仅获得一条待匹配的道路,则该GPS定位点为确定点,其匹配道路为确定道路。若获得多条待匹配道路,则GPS定位点 P_i 为待确定点,需要以下步骤再进一步确定其匹配道路。若能获得待选路径,则转步骤3;若不能获得待选路径,则转步骤10。

步骤3 循环遍历该时间段内全部的GPS定位点,将GPS定位点 P_i 与其待匹配路径集合 R_i 加入到全局路径匹配集合 W 中。

步骤4 循环遍历全局路径集合 W 中各个GPS定位点以及其待选路径集合。根据路网拓扑结构为基础,对各个GPS点位的待选路径集合 R_i 进行处理,去除拓扑结构不相关的待选路径。若GPS定位点 P_i 为初始化点,则转步骤5;若GPS定位点 P_i 不为初始化点,则转步骤6。

步骤5 由于GPS定位点 P_i 为初始化点,其待选路径集合 R_i 不需要进一步筛选。接着转步骤7。

步骤6 GPS定位点 P_i 的待选路径集合的进一步筛选需要参考定位点 P_{i-1} 的待选路径集合。假设GPS定位点 P_{i-1} 的待选路径集合为已筛选,则其待选路径集合有拓扑结构关系的所有道路及其集合内路径都可能为GPS定位点 P_i 的待选路径。根据以上所得的下一个定位点可能的路径集合,将当前GPS定位点 P_i 的集合进行并集操作,其结果为筛选过的路径集合。如果所得筛选集合为空,则当前GPS定位点 P_i 与 P_{i-1} 之间无拓扑关系并根据时间间隔判断其是否为GPS断层,如果是则将当前GPS定位点 P_i 设为初始化点,重新进行遍历,转步骤5。如果所得筛选集合不为空,则更新总体待选路径集合 W 并转步骤7。

步骤7 因为GPS定位点 P_i 的待选路径集合的确定还可以参考定位点 P_{i+1} 的待选路径集合,所以可以将已经筛选过的总体待选路径集合 W 再进行筛选。接着,转步骤8。

步骤8 此时如果GPS定位点 P_i 的待选路径集合

中有多条路径,则可以根据 GPS 定位点 P_i 与各待选路径 $r_i \sim r_j$ 之间的垂直距离最小为原则,找到 GPS 定位点 P_i 的确定路径 r_i ,接着转步骤 9。

步骤 9 最后得到更新后的总体待选路径集合 W ,其集合元素都由 GPS 定位点 P_i 以及其正确匹配道路组成。

步骤 10 该 GPS 定位点 P_i 为异常点,将该 GPS 定位点加入异常点集合 E ,转到步骤 1。

3 应用案例

文中应用实例数据主要来源于上海市公安局车载 GPS 巡逻车定位数据。文中抽取的数据定位地点主要为上海市南北高架,因为该区域道路路网复杂,比较有代表性。GPS 定位数据的时间间隔为:2010 年 10 月 1 日早上 9 点 30 分到 11 点 10 分。GPS 定位周期为 2S 左右,GPS 定位点数目一共为 281 个。

文中以 GPS 定位点为中心,以 20m 为半径做缓冲区分析,在道路中心线图上搜索道路,最终将各 GPS 定位点匹配到正确道路上,其部分地区匹配前及匹配后的结果如图 5、图 6 所示。

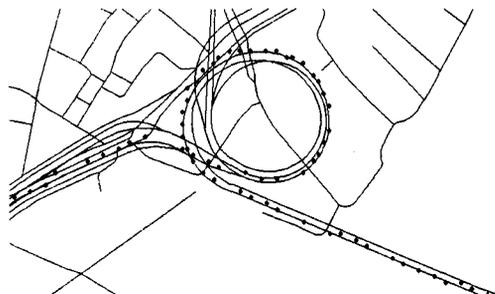


图 5 匹配前效果图

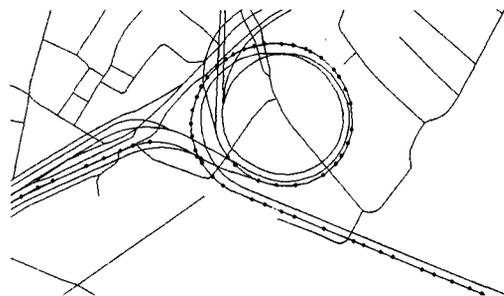


图 6 匹配后效果图

4 结束语

文中针对 GPS 定位点时间频率较快、定位精度较高、比较容易获得确定道路的特点,提出了基于路网拓扑结构的地图匹配算法。文中算法结合路网拓扑结构关系,对待选路径集合进行筛选,有效减少了参与计算的待选路径,提高算法的整体效率,同时,也避免了基于模糊逻辑算法中常见的权重值难以确定的问题,并通过应用案例进行实验,证明算法在复杂路网中准确的匹配效果。

参考文献:

- [1] 华永平,刘砚一. 车载定位系统中综合地图匹配算法研究[J]. 现在雷达,2010,32(3):53-56.
- [2] 陈嘉,胡继华. 面向车辆监控导航的地图匹配算法研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2009,45(2):299-305.
- [3] Najjar M E E, Bonnifait P. A Road-matching Method for Precise Vehicle Localization Using Belief Theory and Kalman Filtering[J]. Autonomous Robots, 2005, 19(2): 173-191.
- [4] 胡建超,王忠. 改进的地图匹配算法研究[J]. 通信技术, 2009,42(11):166-170.
- [5] 卢文涛,周银东. 基于拓扑结构的地图匹配算法研究[J]. 测控技术,2010,29(6):73-76.
- [6] 周璞,刘卫宁. 基于路网拓扑结构的无方向参数地图匹配算法[J]. 计算机工程与应用,2006,42(33):188-190.
- [7] 赖云波,孙棣华. 基于道路缓冲区分析的地图匹配算法[J]. 计算机应用研究,2011,28(9):3312-3314.
- [8] Quddus M A, Ochieng W Y, Zhao Lin, et al. A general map matching algorithm for transport telematics application[J]. GPS Solutions,2003,7(3):157-167.
- [9] Yu Jinxia, Cai Zixing. Fuzzy Likelihood Estimation Based Map Matching for Mobile Robot Self-localization [J]. FSKD,2006,4223:846-855.
- [10] 刘伟铭,田世艳. 基于地图匹配的城市道路实时交通状态模糊综合判别方法[J]. 公路交通科技,2011,28(10):86-91.
- [11] 杨新勇,黄圣国. 基于拓扑结构/自适应模糊决策的地图匹配算法[J]. 上海交通大学学报,2004,38(8):1389-1393.
- [12] 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.

(上接第 222 页)

- [8] Meyer-Baese U. 数字信号处理的 FPGA 实现[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [9] Altera Corporation. Avalon Interface Specification[M]. [s. l.]:Altera,2005.
- [10] Altera Corporation. Avalon Memory-mapped Interface Specification [EB/OL]. [2009]. [http://www.altera.com.cn/](http://www.altera.com.cn/literature/lit-index.html)

[literature/lit-index.html](http://www.altera.com.cn/literature/lit-index.html).

- [11] 何韬,梁栋,李瑶,等. 小波变换在电力谐波分析中的应用[J]. 计算机技术与发展,2007,17(1):229-232.
- [12] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,2004.