

智能交通领域中地图匹配算法研究

周成¹ 袁家政² 刘宏哲¹ 邱静¹

(北京联合大学北京市信息服务工程重点实验室 北京 100101)¹

(北京联合大学计算机技术研究所 北京 100101)²

摘要 地图匹配是智能交通系统领域的研究热点和难点。通过地图匹配来实时获得车辆所在道路及位置信息是一种比较普遍而且成本较低的方法。整理和分析了近年来关于地图匹配算法的文献,将地图匹配的处理算法分为几何匹配的算法、基于拓扑结构的算法、基于概率统计的算法和先进算法,并且系统地介绍了各篇文献中典型的地图匹配算法,比较了各种方法的差异,探讨了其未来发展趋势。

关键词 地图匹配,智能交通系统,几何匹配

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.10.001

Survey of Map-matching Algorithm for Intelligent Transport System

ZHOU Cheng¹ YUAN Jia-zheng² LIU Hong-zhe¹ QIU Jing¹

(Beijing Key Laboratory of Information Services, Beijing Union University, Beijing 100101, China)¹

(Institute of Computer Technology, Beijing Union University, Beijing 100101, China)²

Abstract Map matching is a research hotspot and difficulty in the field of intelligent transportation system. It is a kind of common and low cost method to obtain the real-time position and road information of vehicles. The paper collated and analyzed a large number of literature about map matching algorithm in recent years, which can be divided into geometric matching algorithm, the topological algorithm, the probability algorithm and advanced algorithm. This paper systematically introduced the map matching in classic literature and compared the difference of various methods and meanwhile discussed the future development trend.

Keywords Map matching, Intelligent transportation system, Geometric matching

1 引言

地图匹配技术是导航技术的核心,在智能交通领域起着不可替代的作用,例如:机场、车站客流疏导,城市交通智能调度,高速公路智能调度,运营车辆调度管理,机动车自动控制等。地图匹配技术与定位技术的结合,极大地提高了车辆定位精度,所以地图匹配技术是决定导航系统最终性能的关键技术。

地图匹配是应用软件方法对导航定位误差进行修正的技术。该技术以模式识别理论为依据,以车辆始终行驶在道路上为假设,结合车辆定位的轨迹与数字地图中的道路网络,将定位系统所测得的车辆位置信息与导航系统的电子地图数据进行比较和匹配,找到车辆所在的路段,计算出车辆在路段上的确切位置,将车辆定位点投影到路段上,从而校正定位误差。

地图匹配的过程实现主要有 4 种算法:基于几何匹配的算法、基于拓扑结构的算法、基于概率统计的算法和其他先进

算法^[1]。几何匹配算法是在 20 世纪 90 年代提出来的,它主要利用几何信息形状等,而不考虑道路的连接关系;地图匹配算法中运用历史数据、车辆速度和拓扑信息等额外信息的称为基于拓扑结构的算法,基于拓扑关系的地图匹配算法不仅考虑定位系统采集点和路网元素的距离,而且将历史采集点及道路网络的拓扑连通性纳入考虑范围;基于概率统计的地图匹配算法利用概率统计理论确定候选道路集、导航传感器的误差源以及空间道路数据,如果车辆接收到的定位系统数据超出了已知的道路网络,概率统计算法就会不断地比较接收到的定位系统坐标与偏离道路路段的坐标,并识别车辆匹配的路段;先进地图匹配算法是利用卡尔曼滤波或者扩展卡尔曼滤波方法、基于 D-S 证据推理方法、模糊逻辑方法、先验知识等的方法。

本文详细介绍了地图匹配的各种算法及其研究进展,并系统介绍了几何匹配算法、拓扑关系算法、概率统计算法以及先进算法的优缺点,最后通过总结与展望,给出了地图匹配算法今后研究的热点与难点。

到稿日期:2014-10-15 返修日期:2014-12-25 本文受国家自然科学基金(61372148,61271369,41101111),北京市属高等学校创新团队建设与教师职业发展计划项目(CIT&TCD20130513, IDHT20140508),北京市教育委员会科技发展计划面上项目(SQKM201411417004),北京联合大学人才强校计划人才资助项目资助。

周成(1989—),男,硕士生,主要研究方向为导航与定位,E-mail:zhoucheng889976@163.com;袁家政(1971—),男,博士,教授,主要研究方向为图形图像处理、导航与定位、文物遗迹的数字化处理、数字博物馆等(通信作者);刘宏哲(1971—),女,博士,副教授,主要研究方向为可视媒体语义计算、人工智能、数字博物馆等;邱静(1990—),女,硕士生,主要研究方向为数字图像处理。

2 地图匹配算法

地图匹配技术是将定位数据与空间道路网的数据整合在一起,通过智能交通系统提供实时、准确和可信的定位信息^[2-6]。

地图匹配过程可以用多种算法实现。本文将地图匹配算法归为4类,如图1所示,主要是基于几何匹配的算法、基于拓扑结构的算法、基于概率统计的算法和其他先进算法。

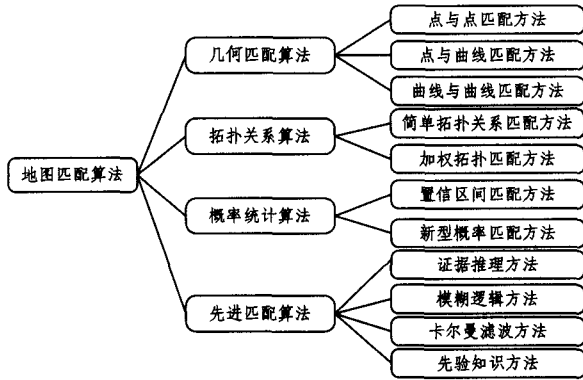


图1 地图匹配分类算法

2.1 几何匹配方法

几何匹配算法利用地图道路网的几何信息进行匹配,它只考虑路段的形状距离等,不考虑道路的连接关系。几何匹配算法只是将每个定位点匹配到电子地图上与之垂直距离最近的路段。几何匹配简单地说就是将匹配点映射到最近的节点。如图2所示,几何匹配由定位点 $P_i(i=0, \dots, 7)$ 和圆弧 A, B, C 组成。 P_3 点是定位点,根据点与点匹配, P_3 点到路段 A 的 A_3 点距离最短, A_3 点是匹配点。

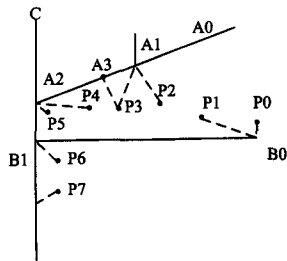


图2 几何匹配示意图

几何匹配算法是一种比较简单的搜索方法。最简单的几何匹配算法是点对点的匹配^[8],即将导航系统的定位点匹配到电子地图中距离最近的点。但是点与点匹配的方法在道路复杂和有弯道的情况下,很容易出错,如图3所示。 P_t 是定位系统给出的点, $B_i(i=0, \dots, 2)$ 和 $A_i(i=0, \dots, 2)$ 是电子地图中的点, A_0 和 A_1 是正确的匹配点,但是 P_t 与 B_1 的距离更短,点与点匹配容易将匹配点变成 B_1 。

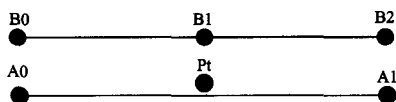


图3 点与点匹配的问题

几何匹配中另一种匹配方法是点与曲线的匹配方法。在这种方法中,是将导航系统中的定位点匹配到道路网中最近的路段上^[9]。计算点与线段的最短距离比计算点与直线的最短距离要复杂。如图4所示,计算定位点 q 与路段 A_0A_1 的

距离需要同时计算 q 与 A_0, A_1 之间的距离,选择距离最小的点作为匹配点。但是如果计算点 p 与直线 A_0A_1 的距离,只需要计算点 p 与直线 A_0A_1 的垂直距离。

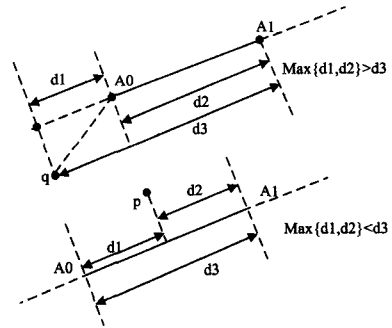


图4 点与线匹配

王楠等在文献[10]中提出了一个基于位置点匹配的方法,将车辆行驶时的匹配定位处理成5种不同状态,并针对每种状态各自的特点和定位要求,采取了不同的处理方法。把待匹配的定位系统定位点向附近所有道路做投影,计算定位点与各路段的投影距离,以及车辆行驶方向与道路间的夹角,在所有候选道路中选择距离度量值最小的作为匹配道路。

点与曲线匹配算法并没有考虑历史信息,而且在路段的拐弯处很容易造成匹配错误,如图5所示,定位点 P_0 与路段 A 和路段 B 距离相近,如果考虑历史轨迹信息,则可以明显地看出 P_0 点的匹配点在路段 A 上。

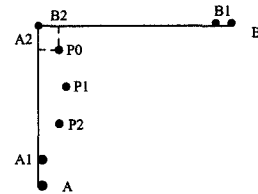


图5 点与曲线匹配的问题

在点与线的基础上,White等提出了一种曲线与曲线的匹配方法^[11]。将车辆的行驶路径与电子地图中的路径相匹配,然后再利用点与点匹配。如图6所示,将定位点组成一条轨迹曲线,然后与道路中心线进行比较,距离轨迹曲线最近的道路被确定为匹配道路。这种方法虽然利用了定位点的轨迹信息,但是曲线与曲线之间的距离计算很复杂,很难准确确定曲线之间的距离。

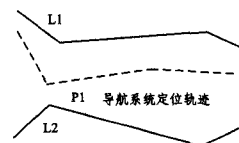


图6 曲线与曲线匹配

王楠等在文献[12]中提出了一种改进的曲线与曲线的匹配方法,利用车行轨迹曲线进行实时提取与描述,该算法采用连续的一次曲线近似描述车行轨迹曲线,使高次曲线降幂,降低匹配计算量,简化算法逻辑,较好地保证了算法的实时性。Joshi等在文献[13]中提出了基于旋转变量矩阵(Rotational Variation Metric, RVM)的分段地图匹配算法,RVM由一些列定位信息导出的弧与路网的弧的切线矢量之间的夹角组成,这些角度的方差叫旋转变量系数(RVC),具有最小值的路段被确定为正确路段,此方法用角度作为弧与弧之间相似

的度量,省去复杂的距离计算,但未能表现出比其他算法更优越的性能。Diange Yang 等在文献[14]中提出了一种基于轨迹相似度综合模糊评价的地图匹配算法(tbMM),在 tbMM 算法中,将通常的曲线匹配改成轨迹匹配的方法。这种新方法不仅考虑了道路和车辆轨迹形状,而且还考虑了车辆的行为约束。轨迹匹配与曲线匹配的相似之处是将形状、方向和行为进行了量化,然后通过分析,运用模糊综合评价法,来保证匹配的可靠性。模糊综合评价法考虑了车辆轨迹与匹配轨迹的 4 个因素:位置、形状、方向和行为。几何匹配的算法在定位系统没有较大误差的情况下,效果较好,而且相对简单,易于实现,可以在一定程度上提高定位的精度,但是没有利用道路的拓扑信息和交通规则等信息,导致效率较低,稳定性比较差,容易出现错误匹配。

2.2 基于拓扑关系的匹配方法

基于拓扑关系的匹配方法是地图匹配方法中较为常见的方法。利用几何的链接以及连通性的地图匹配算法被称为拓扑关系地图匹配算法^[15-20]。

Greenfeld 等在文献[15]中提出了利用加权拓扑的方法解决地图匹配的问题。该方法基于道路网的拓扑分析以及观察用户的位置坐标信息。它不考虑任何实时定位系统的航向信息或者速度信息,该方法对异常值特别敏感,因为这些会导致计算车辆航向不精确。Meng 等在文献[17]中也利用拓扑分析提出了一个更加简洁的地图匹配算法。该算法是基于车辆轨迹之间的关系和拓扑特性(道路转向、道路曲率和道路连通性)。通过对大量候选道路的测试选出阈值,这些阈值是从测试数据里面获得的。该算法使用实时的定位系统 DR 和空间道路网的数据,并且利用道路交叉点的转向约束信息来提高算法的效率。

M. A. Quddus 等在文献[18]提出了改进的拓扑关系匹配算法。通过要素加权来优化传统的直接投影算法,将轨迹方向和点到路段的距离分别进行加权计算,路段与轨迹方向一致性越高,权重就越大;距离越小,权重越大;空间相关性越大,权重越大。将方向、距离和相关性的权重相结合计算出该路段的权重,然后根据权重选择路段。如图 7 所示: $P_i(i=0, \dots, 5)$ 为定位点,其中 P_1, P_2, P_3 是路段 1 上面的定位点,此时需要确定下一路段,需要用到 P_4 点的信息,当前汽车行驶在路段 1 上,候选路段是 2、3、4,为了选择正确的路段需要对候选路段的权重进行计算,公式如下:

$$WS_H = A_H \cos(\Delta\beta') \quad (1)$$

其中, WS_H 是该路段的权值, A_H 是权重系数, $\Delta\beta'$ 是定位数据的航向角与地图中该点航向角的差值, $\Delta\beta'$ 的值越小,匹配的准确率越高。

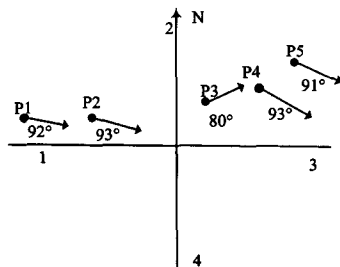


图 7 基于拓扑关系和权重的匹配

Nagendra R. Velaga 等在文献[19]中提出了一种基于要素加权的拓扑方法,在 M. A. Quddus 的方法基础上,将两个

新的权重(转弯限制和连通性)加入到匹配算法中,经过实时的测试,该算法在市区的道路准确率达到 96.8%,在郊区可以达到 97.01%。Haiqiang Yang 等在文献[20]中对 Nagendra R. Velaga 等人的方法进行了改进,提出了将航向、距离、连通性和转弯限制作为权重,其中航向的权重最高,距离的权重次之,剩下的依次递减,然后将 4 个权重相加,根据权重的高低选择路段。

基于拓扑关系的地图匹配算法不仅考虑定位系统采集点与路网元素的距离,而且将历史采集点及道路网络的拓扑连通性纳入考虑范围。拓扑关系的匹配算法与几何匹配的算法相比,准确度较高,效率更高,但是还不能完全解决复杂的城市道路问题。

2.3 概率统计方法

概率统计地图匹配算法也是一种常见的地图匹配算法。概率统计算法利用置信区域筛选当前匹配路段。这种算法最早是 1989 年由 Stanley K. Honey 等在文献[21]中提出的,在汽车动态运动时,用计算机估计车辆的位置距离和航向数据,然后进行航位推测,估计出汽车可能在的路段。彭飞等在文献[22]中提出了基于代价函数的组合导航系统地图匹配算法,其基本思想是首先确定定位误差区域,然后从中提取用以进行匹配的道路位置信息。根据概率准则定义误差区域^[23,24],即误差区域必须以一定的概率包含车辆实际位置, $P(x, y)$ 是定位点,如图 8 所示。

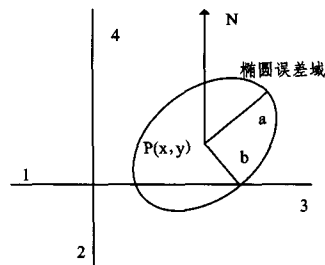


图 8 定位点误差椭圆域

按照统计理论,定位误差椭圆推导如下:

$$a = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{2(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)} + \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_y^2 + 4\sigma_{xy}^2}} \quad (2)$$

$$b = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)} + \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_y^2 + 4\sigma_{xy}^2}} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}\right) \quad (4)$$

其中, ϕ 为椭圆半长轴方向与正北方向的夹角, a 和 b 为误差椭圆的长短轴, σ_x 和 σ_y 分别为定位系统东和北方向的测量误差的标准差, σ_{xy} 为协方差, σ_0 为单位权值的后验方差。如需获得不同的可信度,就可以调整误差椭圆的大小,即改变 σ_0 的值。车辆导航系统中,定义误差椭圆的大小通常是利用定位系统的接收模块参数。许志海等人在文献[25]中对此方法进行了改进,在利用概率统计确定阈值的同时还利用道路的拓扑结构和交通属性加快搜索道路的速度。

Ochieng 等在文献[26]提出了一种增强的概率统计地图匹配算法。在这个算法中,椭圆误差区域当且仅当汽车在道路交叉口时产生,当汽车在一条直行道路上行驶时,不产生椭圆误差区域。这种方法使得算法的速度变快而且更加可靠稳定。Ochieng 等在文献[27]中对上述方法进行了改进,提出了一系列基于检测车辆转向控制在交叉路口的实验研究标

准,改进了椭圆定位误差域,又设计了一种矩形误差定位区域。这对识别车辆从一条车道转换到另一条车道很有效。这种增强的概率算法还考虑了汽车低速运行时导航系统航向角不准确的情况,使得算法在车辆低速运行时也能正确匹配,尤其是在频繁停车的城市地区,如图9所示。

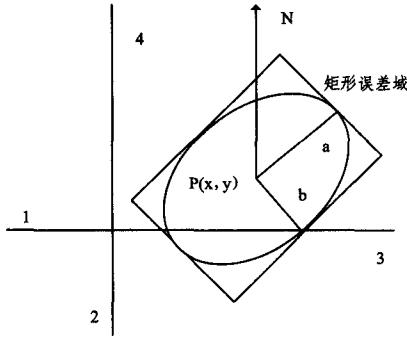


图9 矩形误差域

文献[28,29]分别提出了一种利用多假设思想的地图匹配算法,其特点是在为每个点确定匹配路段时,利用置信区域选出多个候选值并存储起来,每条候选路段都有一个得分,在定位系统序列结束时才选出得分最高的路段作为匹配路段。通过分析得出,概率统计算法的优点在于不要求车辆总是在道路上。如果车辆接收到的定位系统数据超出了已知的道路网络,概率统计算法就会不断地比较接收到的定位系统坐标与偏离道路路段的坐标,并识别车辆匹配的路段[30]。

2.4 先进匹配方法

2.4.1 模糊逻辑算法

地图匹配涉及模糊度的定型决策过程,利用模糊逻辑方法可以解决这一问题。模糊逻辑推论过程包括模糊化、推理机和去模糊化3个部分,利用隶属函数描述与候选道路来定义误差模型。

苏洁等人在文献[31]中提出了模糊逻辑算法,其基本思想是在将地图每条道路分段线性化成直线段的前提下,对每条描述路段进行模式识别,并将前面多路段的识别结果作为后一路段的相似性大量函数识别权值。第*i*条待识别道路的相似度量函数 λ 如下:

$$\lambda_i = q_i \sum_{k=0}^N \Delta_k \quad (0 \leq i \leq c-1) \quad (5)$$

$$\Delta_k = \|S_k - V_k\| = \sqrt{(x_{ik} - x_{Tk})^2 + (y_{ik} - y_{Tk})^2} \quad (6)$$

$V(X_p, Y_r)$ 是 $S(X, Y)$ 向量到路段的投影点。 Δ 指平面二维欧氏距离, q 指加权系数。可以看出 λ 越小,路段的相似性越高。宋洁等人在文献[32]中利用模糊逻辑的方法解决问题。利用隶属函数描述和候选道路定义误差模型,由评判原则来确定匹配路段。这里包括两个过程:初始化的地图匹配过程(Initial Map-matching Process, IMP)和后续的地图匹配过程(Subsequent Map-matching Process, SMP)。SMP有两个阶段:(1)车辆在道路线上行驶;(2)车辆到达拐弯处。Quddus等在文献[33,34]中提出的有关模糊逻辑的地图匹配算法在没有额外费用的基础上加入了一些算法输入:(1)车辆的速度;(2)道路之间的连通性;(3)定位点相对于候选道路的位置。利用算法的这些输入和模糊逻辑的规则来提高算法的性能。

模糊逻辑算法的优点在于其匹配效率高、计算简单、实时性好,比几何匹配算法有更好的鲁棒性,但是算法本身的计算

开销较大,权重系数分配缺乏理论依据,基本上以经验为主要选择标准[35]。

2.4.2 基于D-S证据推理算法

D-S证据理论[36]有较强的理论基础,既能处理随机性所导致的不确定性,又能处理模糊性所导致的不确定性,依靠证据的积累,不断缩小假设集,将“不知道”和“不确定”区分开来。在样本空间中定义命题的信任函数(对命题A为真的支持度)与似然函数(不反对命题A的支持度)。然后考虑不同证据的mass函数,根据D-S合成规则,可以得到一个复合函数,此函数反映了证据对命题A的联合支持程度。

谷正气等在文献[37]中对该算法在两方面进行了改进:(1)证据权值改进,通过高斯概率密度函数求出证据之间的距离及其支持矩阵,反映对同一物体测量结果的不一致,求得支持矩阵的每个证据的可信度,求得每个证据的权值;(2)决策规则改进,基于Pignistic概率的决策规则,而非传统的单层决策,以扩大信度差异。李珂等人在文献[38]中提出了一种在城市汽车导航中的改进D-S证据理论匹配算法。其思想是对车辆的可达性信息进行考察,以其作为新的证据与传统算法证据融合,将得到的结果进行D-S证据的二次融合,并针对城市环境中不同道路拓扑结构,对传统算法中车辆的位置信息和行驶方向信息的可靠性参数进行仿真训练,得出更为精确的数值以供使用。

基于D-S理论的算法优点在于通过推理可以得到唯一的判断结果。缺点在于算法证据推理过程只考虑了定位系统采样点的两种信息:定位系统的位置和方向。但在地图匹配过程中,还需要考虑3种以及3种以上信息的融合,并且算法实现复杂、计算开销较大。

2.4.3 卡尔曼滤波算法

Xu Hao等在文献[39]中提出了一种改进的卡尔曼滤波器的模型,利用历史轨迹和路线图的信息有效地纠正全球定位系统地图匹配的错误。由于定位系统接收机的噪声不符合理想的卡尔曼滤波理论,传统的模型在估计定位点上不准确。如果定位系统的误差将先前的时间点作为观察点,定位系统的噪声点就符合正态分布,也就满足了卡尔曼滤波理论的假设。在本算法中提出,在两个垂直方向的定位系统误差的状态空间模型被夹紧了,它们的观察值直接从先前的时间得出。误差主要由两个垂直方向的误差(X方向和Y方向)组成。坐标点的观察公式如下:

$$Z_{\Delta n}(k) - Z_{\Delta n}(k) = S_n(k) + v_{\Delta n} \quad (7)$$

$$Z_{\Delta e}(k) - Z_{\Delta e}(k) = S_e(k) + v_{\Delta e} \quad (8)$$

$Z_{\Delta n}(k)$ 和 $Z_{\Delta e}(k)$ 是定位系统路径点K时刻在y和x方向的观察值。

Li Liang等在文献[40]中通过一种扩展的卡尔曼滤波方法不断地获得车辆的位置修正信息,然后通过一种基于权重的拓扑匹配算法将匹配的位置点融合在道路网上,同时采用了一系列的道路网络特性增强了地图匹配过程的准确性。这些道路网络特性包括立体交叉、交通流的方向和道路的几何链接。再通过接收机自主完整性监视技术(Receiver Autonomous Integrity Monitoring Technique, RAIM)监控地图匹配算法的准确性。在RAIM方法中,需要修改两个参数,一个变量是提高故障检测的误差报警率,可以在道路的岔口部分提高检测效果;另一个是非高斯分布的参数sigma,主要用于

测量噪声分布。Li Liang 等通过收集诺丁汉到伦敦的数据表明,这种地图匹配算法的精确度达到了 97.7%,这种增强的 RAIM 方法提供了更好的估测检测功能。

Xu Hao 等在文献[39]中提出了一种改进的卡尔曼滤波算法和一种有效的全球定位系统误差修正方法。该算法的思想是:使用卡尔曼滤波器的关键是设计一个新的状态空间模型来满足卡尔曼滤波理论的基本假设。该方法利用卡尔曼滤波和一个新方法使车辆转弯后的定位系统偏置误差最小。卡尔曼滤波利用了定位系统误差的特点并考虑了在建模过程中卡尔曼滤波理论的白噪声假设。这种新方法提高了计算偏置误差的精度。改进的卡尔曼滤波算法在处理偏移误差和白噪声误差时有很好的效果。

基于卡尔曼滤波的地图匹配算法具有很高的稳定性,特别是在交叉路口。但是该方法在匹配的最初阶段效果不理想,没有充分考虑车辆的行驶轨迹与道路形状的相似性。

2.4.4 先验知识方法

Li Yang 等在文献[41]中提出了一种新的地图匹配方法,通过长时间观察人类行车的习惯,将出租车和公交车行车记录仪的数据与定位系统的点相匹配。将可能行驶的路网分为 K 段,通过机器学习确定了每个路段的长度,与行车记录仪里面的路径进行匹配,提高准确度。

Zhang Xiaoguo 等在文献[42]中提出了一种基于历史信息的地图匹配算法。该文首先提出了一种基于点的地图匹配计算框架,同时列出了现有的地图匹配算法的缺点;然后,提出了一种单向路网模型,同时地图匹配算法总是在道路上执行遍历以至于道路的历史信息很容易被保存下来。采用线性航向变化模型(The linear heading-change model),关于航向信息没有解决办法的问题可以被排除,同时可以排除地图匹配算法在十字路口出错的问题。最后,用该算法在香港实际道路上进行实验,结果证明它有很好的定位效果和较好的鲁棒性。

基于先验知识的地图匹配算法充分地考虑了车辆的历史轨迹信息以及当前车辆的航向、道路形状和速度信息。能够较好地将车辆的当前位置匹配在电子地图上。

结束语 通过对以上 4 种算法的总结,可以得出如下结论:几何匹配的算法相对简单,但是效率不高,稳定性差,它的一些改进算法只是提高了其稳定性,并没有对效率进行改进,最大的问题是当出现错误匹配时,无法及时修正。基于拓扑结构的算法相对简单且有效,充分利用了道路的几何连通性以及拓扑关系,在简单道路环境下有很高的准确率,但是在复杂城市道路环境下,效率不高。概率统计算法大多存在着算法复杂、实现困难的问题,它涉及一系列的公式推导,不仅实践起来繁琐,不容易理解,而且算法本身计算开销较大,匹配效率低下,这样就影响了实时性,难以满足大众对定位系统的要求。先进匹配方法都有较高的准确率,特别是在郊区空旷的道路,准确率非常高,同时在城市道路上也有很好的效果。但是先进地图匹配算法需要许多额外的数据信息,使得算法的时间复杂度高,很难满足实时性的要求。总的来说,地图匹配算法中,算法相对简单的准确性不高,准确性高的算法计算复杂、计算效率不高。

现在针对海量导航系统数据的处理,海量导航数据地图匹配算法的相关研究还较少。海量定位系统数据处理的核心

在于保留数据的实时性匹配,需要考虑定位系统数据的时间信息和空间信息;另外,应用于城市道路时,由于环境的不断变化,地图匹配算法如何在复杂城市环境下得到精确的匹配也是目前研究的难点之一。在今后的研究中,如何提高地图匹配算法在复杂城市环境中匹配的准确性以及如何快速处理海量数据是目前地图匹配研究领域中的热点之一,需要进一步研究,以使得其更好地应用在导航系统中。

参 考 文 献

- [1] 徐浩. GPS 车辆导航与定位系统的地图匹配算法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2007
Xu Hao. The research of GPS vehicle navigation and positioning system of map matching algorithm[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007
- [2] Chen W, Yu Z L, Chen Y Q. Integrated vehicle navigation system for urban applications[C] // Proceedings of International Conference on Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Graz, Austria, 2003; 15-22
- [3] Kim J S. Node based map matching algorithm for car navigation system[C] // International Symposium on Automotive Technology & Automation Global Deployment of Advanced Transportation Telematics/ITS. Florence, Italy, 1996
- [4] Li Z, Chen W. A new approach to map-matching and parameter correcting for vehicle navigation system in the area of shadow of GPS signal[C] // Proceeding of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2005; 1639-1643
- [5] Marchal F, Hackney J, Kay W. Axhausen. Efficient map matching of large global positioning system data sets: Tests on speed-monitoring experiment in Zürich[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2005, 1935(1): 93-100
- [6] Zhao Y. Vehicle location and navigation system [M]. Artech House Publishers, 1997
- [7] Saalfeld A. Conflation: Automated Map Compilation[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1988, 2(3): 217-228
- [8] Bernstein D, Kornhauser A. An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants[C] // Transportation Research Board Meeting. Washington: Preprint CD-ROM, 1998
- [9] Jones C B, Kidner D B, Luo L Q, et al. Database design for a multi-scale spatial information system[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1996, 10(8): 901-920
- [10] 王楠, 王勇峰, 刘积仁. 一个基于位置点匹配的地图匹配算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1999, 20(4): 344-347
Wang Nan, Wang Yong-feng, Liu Ji-ren. A Point-Based Map-Matching Algorithm [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 1999, 20(4): 344-347
- [11] 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(1): 91-108
- [12] 王楠, 王勇峰, 刘积仁. 车行轨迹曲线的实时提取与描述[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1999, 20(2): 111-113
Wang Nan, Wang Yong-feng, Liu Ji-ren. Real Time Extraction and Description for Vehicle Trace Curves[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 1999, 20(2): 111-113
- [13] Joshi R R. A new approach to map matching for in-vehicle navi-

- gation systems; the rotational variation metric [C] // Proceedings. of 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2001;33-38
- [14] Yang D, Zhang T, Li J, et al. Synthetic fuzzy evaluation method of trajectory similarity in map-matching[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2011, 15(4):193-204
- [15] Greenfeld J S. Matching GPS observations to locations on a digital map[C]//Transportation Research Board 81st Annual Meeting. 2002
- [16] Yin H, Wolfson O. A weight-based map-matching method in moving objects databases, Scientific and Statistical Database Management [C] // Proceedings of the International Working Conference. 2004;437-438
- [17] Meng Y. Improved Positioning of Land Vehicle in ITS Using Digital Map and Other Accessory Information[D]. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, 2006
- [18] Quddus M A, Ochieng W Y, Zhao Lin, et al. A general map matching algorithm for transport telematics applications [J]. GPS Solutions, 2003, 7(3):157-167
- [19] Velaga N R, Quddus M A, Bristow A L. Developing an enhanced weight-based topological map-matching algorithm for intelligent transport systems[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2009, 17(16):672-683
- [20] Yang Hai-qiang, Cheng Shao-wu, Jiang Hui-fu, et al. An enhanced weight-based topological map matching algorithm for intricate urban road network[J]. Rrocedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96:1670-1678
- [21] Honey S K, Zavoli W B, Milnes K A, et al. Vehiclenavigational system and method; US4796191[P]. 1989
- [22] 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(3):261-264
Peng Fei, Liu Chong-kan, Zhang Qi-shan. Cost Function Based Map Matching Algorithm for GPS/DR Integrated Navigation Systems [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002, 28(3):261-264
- [23] Zhao Yi-lin. Vehicle location and navigation system[M]. Beijing: Electronic Industrial Press, 1999
- [24] Bierlaire M, Chen Jing-min, Newman J. A probabilistic map matching method for smartphone GPS data[J]. Transportation Research Part C, 2013, 26(1):78-98
- [25] 许志海, 张昭云, 陈应东. 车辆导航系统中定位数据处理和地图匹配技术[J]. 测绘学院学报, 2003, 20(4):247-250
Xu Zhi-hai, Zhang Zhao-yun, Chen Ying-dong. Technique of Positioning Data Processing and Map Matching in Navigation System for Vehicle[J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2003, 20(4):247-250
- [26] Ochieng W Y, Quddus M A, Noland R B. Map-matching in complex urban road networks[J]. Revista Brasileira de Cartografia, 2003(2):1-14
- [27] Quddus M A, Noland R B, Ochieng W Y. Validation of map-matching algorithm using high precision positioning with GPS [J]. Journal of Navigation, 2004, 58:257-271
- [28] Abbour M, Bonnifait P, Cherfaoui V. Map-matching Integrity Using Multi-sensor Fusion and Multi-hypothesis Road Tracking [J]. Journal of Intelligent Transportation Systems Technology Planning and Operations, 2008, 6(4):189-201
- [29] Schuessler N, Axhausen K W. Map-matching of GPS Traces on High-resolution Navigation Networks Using the Multiple Hypothesis Technique (MHT) [EB/OL]. (2009-08-15). <http://www.cccs.ethz.ch/research/publications>
- [30] 张振辉, 崔铁军, 姚慧敏. 车辆导航系统中地图匹配新算法[J]. 海洋测绘, 2006, 26(2):55-58
Zhang Zhen-hui, Cui Tie-jun, Yao Hui-min. New Map Matching Calculation Method in Vehicle Navigation System [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2006, 26(2):55-58
- [31] 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(3):252-256
Su Jie, Zhou Dong-fang, Yue Chun-sheng. Real-time Map-matching Algorithm in GPS Navigation System for Vehicles [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(3):252-256
- [32] 宋洁, 李国燕, 李娜娜, 等. 基于模糊逻辑的 GPS/DR 地图匹配算法[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(10):30-32
Song Jie, Li Guo-yan, Li Na-na, et al. A Fuzzy-Logic-Based Map Matching Algorithm for the GPS/DR System [J]. Computer Engineering and Science, 2008, 30(10):30-32
- [33] Quddus M A. High Integrity Map Matching Algorithms for Dvanced Transport Telematics Applications [D]. United Kingdom: Imperial College London, 2006
- [34] Quddus M A, Ochieng W Y, Noland R B. Integrity of Map-Matching Algorithms. Imperial College London [J]. Transportation Research Part C, 2006, 14(4):283-302
- [35] 周培德, 付梦印. 车辆定位导航系统的新定位算法[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(1):61-63
Zhou De-pei, Fu Meng-yin. A New Location Algorithm for Vehicle Location and Navigation System [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2004, 24(1):61-63
- [36] 孙世博. 基于 GPRS 的 GPS 车辆定位系统及其证据推理地图匹配算法 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006
Sun Shi-bo. GPS Vehicle Positioning System Based on GPRS and Evidence Reasoning Map Matching Arithmetic [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006
- [37] 胡林, 谷正气, 杨易, 等. 基于权值 D-S 证据理论的车辆导航地图匹配[J]. 中国公路学报, 2008, 21(2):116-120
Hu Lin, Gu Zheng-qi, Yang Yi, et al. Map Matching in Vehicle Navigation Based on Weighted D-S Evidence Theory [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(2):116-120
- [38] Li Ke, Yang Yang, Qiu Xue-song. An improved navigation map matching algorithm based on D-S evidence theory [J]. Journal of Surveying and Mapping, 2014, 43(2):208-213
- [39] Xu Hao, Liu Hong-chao, Tan C W, et al. Development and Application of an Enhanced Kalman Filter and Global Positioning System Error-Correction Approach for Improved Map-Matching [J]. Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, 2010, 14(1):27-36
- [40] Li L, Quddus M, Zhao L. High accuracy tightly-coupled integrity monitoring algorithm for map-matching [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 36(11):13-26
- [41] Li Yang, Huang Qi-xing, Kerber M. Large-Scale Joint Map Matching of Traces [C] // SIGSPATIAL'13. Orlando, FL, USA, 2013
- [42] Zhang X, Wang Q, Wan D. Map matching in road crossings of urban canyons based on road traverses and linear heading-change model [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(6):2795-2803