

文章编号: 1001-2486 (2000) 01-0031-05

车辆 GPS 定位的一般性问题研究*

张 巨, 陈宏盛, 刘 雨

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 为了适应现时特种车辆管理系统对车辆 GPS 定位的精度需要, 并考虑到未来的发展趋势, 对差分 GPS 方案进行了介绍。针对上述方案的不可靠性问题提出了一种车辆路径匹配定位方法, 并通过实验证明了这种方法不仅可以提高定位精度, 同时还有效地避免了车辆在电子地图上显示混乱的问题。

关键词: 车辆管理; 差分 GPS; 地图匹配

中图分类号: TN96; TP391 文献标识码: A

Universal Problems of Vehicle GPS Positioning Technique

ZHANG Ju, CHEN Hong-sheng, LIU Yu

(College of Electronic science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: To meet the requirement of precise GPS positioning in vehicle management system, and also to consider the development in the future, this paper introduces differential GPS projects. Vehicle route matching technique is presented, aiming at the unreliability of the above-mentioned project. Our experiments proved that vehicle route matching technique can not only improve positioning precision, but also avoid the chaos in vehicle's display on the electronic map.

Key words: vehicle management; DGPS; map matching

对市区内的车辆进行有效的指挥和监控是缓解交通紧张状况、预防事故、合理地分配和调度资源、威慑针对车辆的犯罪等的必要手段。基于我国国情, 有关部门要求首先对运钞车、110 移动报警车等特种车辆实行实时的监控和指挥。

车辆的位置信息是实现车辆指挥和监控的最关键数据, 全球定位系统 (GPS) 提供全球覆盖、全天候、免费的标准授时/导航定位服务, 通过车载 GPS 接收机可以实时地获得车辆的位置和速度等关键信息。GPS 系统是目前车辆指挥与监控系统的首选定位方案。但是, 附加了选择可用性 (SA) 技术的标准定位服务 (SPS) 的单点实时定位误差在 100 m 量级, 这样的定位精度使得车辆在指挥/监控中心的市区电子地图上显示时造成严重的混乱。

1 差分 GPS 技术

1.1 GPS 误差源

GPS 误差主要来源于 GPS 卫星、卫星信号的传播过程和地面接收设备。表 1 给出了采用标准定位服务 (SPS) 的 GPS 测量误差来源的分类及各项误差对距离测量的影响。对 GPS 定位而言, GPS 卫星的空间几何分布也会对定位精度产生一定程度的影响。一般情况下, SPS 的精度约为 20~30 m。

为了限制其他国家将 SPS 用于军事领域, 美国军方通过选择可用性 (SA) 技术在卫星星历中人为地加入误差。目前, SA 技术造成的测距误差平均为 33 m。在天顶开阔的条件下, 有 SA 的 SPS 一般能够保证定位误差小于 40 m 的数据量大于全部数据量的 50%, 但只有约 95% 的数据误差小于 100 m。由此可见, SPS 的导航精度只能保证 100 m 左右的置信度。1996 年 3 月, 美国政府宣布在 2006 年前后

* 收稿日期: 1999-06-01

基金项目: 国家部委基金资助项目 (97J7. 2. 3 KG0125); 国防科技大学重点预研基金资助项目 (KD-98-G-017)

作者简介: 张 巨 (1974), 男, 硕士生。

终止执行 SA 政策。美国军方认为, 随着美国利用 GPS 精码定位 (PPS) 精度和抗干扰能力的提高, 这一终止时间可能提前。届时, 用户单点实时定位的精度会提高到 30 m 左右。美国政府已经批准了在无线电频谱中增加两个民用 GPS 卫星信号频率, 随着两个民用频率的采用, GPS 的 SPS 服务精度会得到进一步提高。

表 1 GPS 测量误差分类及对测距的影响

Tab 1 Classifying and affections on ranging of GPS errors

误差源	误差类型	误差范围 (m)
卫星部分	星历误差; 卫星钟差; 相对论效应	1.5~ 15
信号传播	电离层; 对流层; 多径效应	1.5~ 15
信号接收	接收机钟差; 位置误差; 天线相位中心变化	1.5~ 5
其它影响	地球潮汐; 负荷潮	1.0

1.2 差分 GPS 技术

差分技术的优点是能够消除公共误差。对 GPS 定位而言, 差分是通过位置精确已知的 GPS 基准站与定位点的 GPS 接收机同时接收 GPS 卫星信号, 通过差分以消除公共误差, 从而提高定位点的定位精度。有效的差分可以完全消除共有误差 (包括 SA 技术误差), 大部分消除传播路径延迟误差。实时差分 GPS (DGPS) 定位的精度可以达到 2~ 5 m。

对 GPS 用户接收机差分修正有两种实现方式: 在测量域 (对伪距数据) 修正和在结果域 (对位置数据) 修正。两种方法基本上能得到相同的最终位置精度, 主要不同是那些必须在用户接收机与基准站间传输的特定数据。按照误差修正是在用户接收机上还是在基准站处完成的不同, 有四种差分方案:

- (1) 向用户接收机播发伪距修正数据;
- (2) 向用户接收机播发位置修正数据;
- (3) 汇报所有用户的原始测量数据供基站差分处理;
- (4) 汇报未经修正的用户位置数据供基站差分处理。

在上述四种差分方法中, 方法 (1) 和 (2) 可为 GPS 用户接收机提供经差分修正的位置数据, 适用于任何需要精确导航定位的应用。当需要为很多用户服务时, 方法 (1) 比较好, 因为不管用户采用的是哪几颗测量卫星, 8 颗卫星的伪距修正值一般足够。方法 (3) 和 (4) 是对用户下行传输的 GPS 数据进行严格的集中处理。这两种方法又被称为逆向差分或集中差分, 适合于中央基准站需要精确位置数据而定位点不需要精确位置的情况。

近年来, 国内各个部门为了满足需要而纷纷建立各自的差分 GPS 系统, 这种做法实际上是一种低水平的重复, 浪费了大量的人力物力和无线电频道资源。目前, 国内外相关领域的专家学者正在进行建立统一的多用途、多功能广域差分 GPS 网建设方案的论证, 美国政府也正在致力于采取提供民用 GPS 系统高精度的免费定位服务的新举措, 所以部门性的差分 GPS 网生命力不会持久。但是, 对特种车辆的指挥与管理又是时下相当迫切的需求。因而, 在系统容量不是特别高的时候, 逆向差分体制不失为一种较好的选择。

1.3 GPS 盲区处理

由于城区内地物特征复杂, 受密集的高大建筑物、隧道、立交桥、树木等地物的反射和遮蔽等影响, 车载 GPS 接收机接收到的卫星信号存在严重的多径效应, 在某些区域内甚至会形成 GPS 定位盲区。一般情况下, GPS 定位盲区范围不会很大, 这样, 根据惯性导航设备 (INS) 短期精度较高的原理设计出的车辆航位推算设备可以基本解决 GPS 盲区问题。车辆航位推算设备一般由航向角传感器和位移传感器构成, 航向角传感器主要有磁罗盘、差动里程仪和角速率陀螺等, 位移传感器主要有加速度计、里程仪和多普勒雷达等。一般采用角速率陀螺和里程仪组成航位推算设备。当 GPS 接收机

发生丢星时, 航位推算仪可以根据丢星前的 GPS 数据推算出当前位置坐标。

应当指出的一点是, 由于航位推测是在车辆一端实现的, 而在系统设计时, 车辆端只能获得 GPS 的导航精度。这样, 通过航位推测得到的所有数据都存在因 GPS 定位数据的偏差而带来的一个初值系统误差。解决这一问题的方法是在差分基站记录每一辆车上一时刻的差分改正数, 而车辆上报的位置数据设置一个区别 GPS 定位数据与航位推测数据的标志位, 这样, 就可以根据标志位的不同而在基站进行 GPS 差分处理或航位推测系差的改正。

2 车辆路径匹配定位

尽管通过差分 GPS 与航位推测可以大幅度地提高车辆的定位精度, 但市区内多径效应、环境噪声和接收机内部噪声等对移动车辆 GPS 接收机和基站 GPS 接收机影响的非对称性, 使得差分定位的精确性、持续性和可靠性受到不同程度的影响。尤其是车载 GPS 接收机采用的测量卫星与基站的测量卫星不一致或车辆进入定位盲区时, 更难以保证车辆的定位精度。另外, 一个重要的实际问题是, 即使车辆定位精度可以保证在 10 m 以内, 当电子地图缩放到较大的比例尺时, 也会出现车辆偏离行驶的道路而造成的视觉混乱现象。

为此, 人们提出了地图匹配技术, 它通过搜索与定位点距离最近的道路路线, 然后将车辆定位点直接投影到该路线上。这样一方面提供了避免车辆显示混乱的手段, 使车辆不至于因为定位误差而在显示时偏离道路; 另一方面通过投影使车辆定位数据仅残留 GPS 误差在车辆前进路线上的径向分量, 从而达到提高定位精度的目的。这种方法当车辆的定位精度较高 (误差小于 10 m) 时, 基本能够实现有效的匹配。但是, 当不能实现有效的差分以及 DR 的误差积累特性都难于保证, 定位误差会低于 20 m。因而, 当车辆处在交叉路口或多个平行的道路距离很近时, 会因为误判而造成更为严重的混乱。为此, 我们在系统分析 GPS 定位误差的特点和各种道路和车辆的实际情况基础上, 提出了车辆路径匹配方法。

2.1 路径匹配算法的提出

目前 SA 技术主要呈现系统误差特性, 也就是说, 前后两个定位值因为 SA 技术而造成的定位偏差的大小和方向基本相同。另外, 由于环境的相似性和前后定位数据由同一个 GPS 接收机获得, 所以前后几个 GPS 定位数据的误差的相关性应该很强。1999 年 2 月 3 日采集的 8315 个相隔 2 s 的静态定位数据表明, 前后两个定位值的最大定位偏差为 25.6 m, 最小为 0.3 m, 而前后两个定位值的平均定位偏差仅为 4.2 m。既然系差对前后定位数据相对偏差的影响远大于随差的影响, 那么如果用前一个正确匹配的定位数据的修正值对当前定位数据进行预修正处理, 一定可以消除当前定位数据的大部分定位误差, 从而实现更为有效的匹配。但是, 如果直接采用前一个定位数据的修正值对当前数据进行修正, 若前一个数据发生误判或匹配效果不好时, 则会直接影响到后面的数据修正; 而如果采用历史修正数据的平均值对当前定位误差进行修正, 虽然减弱了邻近修正数据的随差影响, 但是又去掉了邻近数据的相关性, 同时较长时间内的 SA 误差漂移, 则对修正值的准确性造成不同程度的影响。为此, 我们取系差预校正处理值为历史校正数据的加权平均, 计算公式为 $C_E^{Naw} = w \cdot C_E^{Pre} + (1-w) \cdot C_E^{Pre}$, 其中 C_E^{Pre} 为前一个定位数据的位置修正值, C_E^{Pre} 为用于预修正前一个数据的修正数据加权平均值, C_E^{Naw} 为用于预修正当前数据的修正数据加权平均值, w 为权系数 (我们取为 0.1)。这个计算公式带来的好处是它不会影响到系统误差值, 而且既避免了个别定位数据修正值偏差较大导致的连锁反应, 又通过加权的指数衰减效应减弱了 SA 误差漂移带来的影响。

通过定位数据的预修正处理, 可以明显地增强匹配定位的可靠性。但是, 如图 1 所示的一车辆沿路线 R2 自南向北行经时间间隔为 5 s 的 7 个定位点中, 点 4 虽然经过了偏差预校正处理修正到点 4', 但是采用上述方法仍然会误判到路线 R3 的点 4'' 上, 随后的点 5 也会产生同样的现象。实际上, 当车辆的定位数据在交叉路口附近时, 上述的现象是普遍的。从上面的论述中我们已经知道, 由于前后两个定位数据的强相关性, 保证了 GPS 测速数据的精确性。以实测的 20 000 多个间隔为 1 s 的 GPS 测速数据进行统计表明, 当车辆以约 10 m/s 的速度行驶时, 测速的绝对值误差不大于 2 m, 测角误差不大于

15°。有了这个先验知识，让我们再来分析一下图1中的GPS测量值4和5。以点4为例，假设点4匹配到4''，那么匹配值的速度方向指向正西，而实测的速度方向为正北。这样，我们有理由怀疑匹配值的可靠性。由此可见，有了GPS测量速度作为参考，能够有效地解决岔路口的误匹配问题。

当两条基本平行的路线非常接近而且恰好GPS定位数据持续地落在两条道路之间时，可能会出现连续的误判。另外，考虑到城区内道路相当密集，岔路口和交叉路段随处可见，这也大大降低了地图匹配算法的可靠性，同时，对密集的交通网的图层搜索也给匹配计算带来巨大的负荷。鉴于上述问题，考虑到特种车辆一般以交通干道为主要路线的实际情况（尤其是运钞车的路线基本上是固定的），在处理城区地图时对交通干道与普通道路加以区分，分别绘制在不同图层上。在实现车辆图上定位时，优先搜索主要交通干道图层内的路线，计算匹配度量，只有匹配度量值超过经验门限时，才搜索普通道路图层内的路线对象。显然，这种方法可以缓解上述问题带来的麻烦。还有一个无法回避的是交通干道在立交桥等关键区域的密集状况。一种有效的方法是在地图上搜索上一个匹配定位点到当前试验匹配点的最短路径，通过与使用车速测量值计算出来的车辆实际行走距离比较，从而达到消除误判的目的。

2.2 路径匹配的地图索引机制

为了实现车辆路径匹配，必须首先建立道路的索引机制，以利于定位运算过程中对道路的快速搜索。我们知道，为了保证精度需求，每条道路矢量化后，是由若干条线段首尾相接而形成的折线表示的。我们定义折线的两个端点为结点，除结点外的线段的端点定义为节点。为了索引方便，我们将一条路线与任意其它路线的连接（或交叉）点也定义成该路线的一个节点。这样，将实际的交通网分解成若干条互不交叉的线段。实际上，除了用于区分道路的路名外，在表述中可以对结点和节点不加区分。图2是一个典型的井字形路网的分解示意图，其中R*代表路段号，N*代表路线节点号。

2.2 路径匹配的地图索引机制

为了实现车辆路径匹配，必须首先建立道路的索引机制，以利于定位运算过程中对道路的快速搜索。我们知道，为了保证精度需求，每条道路矢量化后，是由若干条线段首尾相接而形成的折线表示的。我们定义折线的两个端点为结点，除结点外的线段的端点定义为节点。为了索引方便，我们将一条路线与任意其它路线的连接（或交叉）点也定义成该路线的一个节点。这样，将实际的交通网分解成若干条互不交叉的线段。实际上，除了用于区分道路的路名外，在表述中可以对结点和节点不加区分。图2是一个典型的井字形路网的分解示意图，其中R*代表路段号，N*代表路线节点号。

考虑到每个节点向外辐射的路段最多不超过8条（根据实际情况确定），可以构造一个节点表，如表2所示。NodeID字段是节点表的主关键字，随后是节点代表的路口名称（如果有的话）、节点的经纬度坐标、与节点相连接的路段数目和相连路段的标识符。为了搜索方便，将路段按由西向东、由南向北的优先级逆时针顺序排列。

表2 节点表字段结构说明

Tab.2 Fields of node table

NodeID	NodeName	Longitude	Latitude	R_ Conn Num	Serial 1	Serial 2	Serial 3	Serial 4	...	Serial 8
N1	4	R1	R10	R2	R9		

相应地，我们以表3所示的格式构造一个路段表。路段表以路段标识符RoadID字段作为主关键字，随后是路段所属的道路名称、路段的两个端结点、路段长度、路段的宽度和路段的权值。其中路段的权值是用于区分交通干道和次要路线的重要性。

表3 路段表字段结构说明

Tab.3 Fields of road-section table

RoadID	RoadName	FirstNode	LastNode	RoadLength	RoadWidth	RoadWeight
R2	...	N1	N2

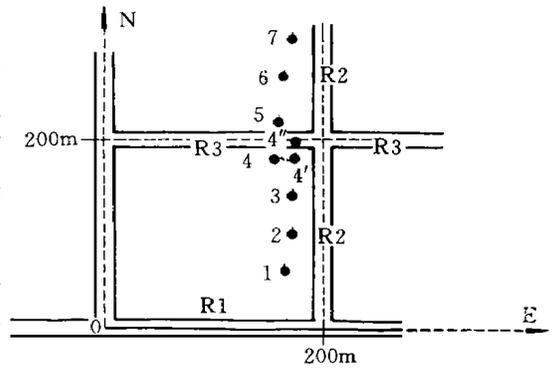


图1 未经修正的车辆定位数据在地图上的显示

Fig.1 Display of Vehicle's original positioning data on electronic map

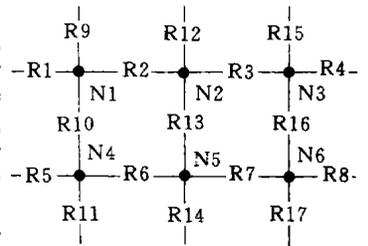


图2 道路的路段拆分方案

Fig.2 Splitting project of road sections

2.3 路径匹配的算法与实验结果统计

路径匹配的算法可以由下面的 10 个基本的步骤组成:

(1) 接收车辆 GPS 定位数据。提取车辆定位数据的经纬度、水平误差估计和速度的大小和方向信息。

(2) 在以未经修正的定位点为圆心、水平误差估计值为半径的圆内搜索道路路段。搜索结果集为空? 是, 转入 (3); 否, 转入 (4)。

(3) 水平误差估计值乘一个大于 1 的扩张系数。转入 (2)。

(4) 对定位数据进行误差预修正。搜索结果集内的对象数是 1? 是, 转入 (5); 否, 转入 (6)。

(5) 计算修正后定位数据到该路段的匹配点, 以这个匹配点为车辆最终定位数据。转入 (10)。

(6) 对定位数据进行误差预修正, 计算修正后定位数据到搜索结果中所有路段的匹配点。计算这些匹配点中距离预修正后数据的距离小于距离认可门限 (初值设置为 20 m) 的数量。数量值是 0, 转入 (7); 是 1, 转入 (5); 大于 1, 转入 (8)。

(7) 距离认可门限乘一个大于 1 的扩张系数。转入 (6)。

(8) 根据匹配路线的方向确定匹配点的速度方向。计算这些匹配方向值与 GPS 接收机实测的车辆速度方向值夹角小于夹角认可门限 (初值设置为 15°) 的数量。数量值为 0, 夹角认可门限乘一个大于 1 的扩张系数, 重新计算该数量值; 数量值为 1, 以这个匹配点为车辆最终定位数据, 转入 (10); 大于 1, 记录这些匹配点, 转入 (9)。

(9) 以前一个定位数据为起点, 在地图上搜索起点到 (8) 中记录的匹配点的最短路径, 以这些最短路径中的最小值作为最终定位数据。转入 (10)。

(10) 根据最终定位数据相对于原始测量数据的位置修正值对误差预修正数据进行调整。在电子地图上对车辆位置进行刷新, 回到 (1)。

为了对上述方法进行检验, 使用在长沙市某典型区域内行使的车辆采集的未经修正的 4 000 多个 GPS 定位数据, 运用两种匹配算法进行检验。计算结果表明, 如果采用一般的最短距离匹配, 误判率为 19.7%; 而采用路径匹配, 误判率仅有 0.6%。可见, 路径匹配算法给予 GPS 定位偏差引起的显示混乱问题以很好的解决。

3 结论

通过差分 GPS 技术和车辆路径匹配算法相结合, 能够更有效地提高车辆的定位精度, 同时也提高了车辆定位显示的视觉效果。但是, 组网容量是上述方法的一个不可回避的问题。就目前的大区制专用通信网而言, 系统组网容量一般只能达到 200 辆/min。按照上述的 5 s 刷新周期计算, 实际容量仅为 20 辆左右, 如果采用 1 min 的刷新周期, 路径匹配方法实际上已经失去意义。目前, 已经有人提出建立小区制蜂窝通信网的解决方案, 相信不久的将来这一问题会得到妥善的解决。

参考文献:

- [1] Carstensen L W. GPS and GIS: Enhanced Accuracy in Map Matching through Effective Filtering of Autonomous GPS Points [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1998, 25 (1): 51-62.
- [2] 徐绍铨等. GPS 测量原理及应用 [M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998.
- [3] 邓中卫. GPS 技术、应用与市场 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1996.
- [4] Worboys M F. GIS: A Computing Perspective, Taylor&Francis Co., 1995.
- [5] 郑平方等. 车辆 GPS/DR/GIS 组合导航定位系统 [J]. 电子技术应用, 1999.
- [6] 施化吉. “火警 119” 系统中通往火场最短行车路线的快速生成 [J]. 微型机与应用, 1999.