

多传感器与道路网数据用于汽车导航的研究

王 密¹ 郭丙轩¹ 李德仁¹ 龚健雅¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 对车载导航系统中 GPS 接收机、车轮计数器和电子罗盘传感器数据与导航电子地图所提供的道路网数据进行了综合处理, 建立了道路网数据的网络拓扑关系, 在此基础上提出了基于道路网络拓扑关系, 利用 GPS 接收机、车轮计数器和电子罗盘传感器对汽车进行实时定位的算法。最后, 对导航中汽车的定位误差进行了分析。实验证明, GPS 接收机、车轮计数器和电子罗盘传感器数据与道路网数据综合, 在导航过程中能够补偿 GPS 信号丢失, 实时、高精度、高可靠性地确定汽车的位置。

关键词: 汽车导航; GPS; 电子罗盘; 车轮计数器; 网络拓扑关系

中图法分类号: P228.42

目前, 在车载导航系统中, 大多数都是采用 GPS 作为主要的导航定位传感器。可是由于成本的限制, 不可能对 GPS 接收机接收的卫星信号进行实时差分来实现高精度定位。因此, 一般都采用单个 GPS 接收机接收的信号来实时确定汽车的位置。GPS 单机的定位精度一般只能达到 30~50m。在这种情况下, 如果不采用适当的方法对定位信息进行实时处理来提高定位精度, 就不可能获得好的导航效果。例如, 当汽车通过桥梁时, 很可能把汽车定位到水中。

另外, 由于 GPS 定位是同时接收几颗 GPS 卫星信号, 通过平差计算得到任一地理位置的三维坐标和 GPS 接收机时钟改正数, 这样, 要得到任意一点的三维坐标, 至少在这一点上同时接收 4 颗 GPS 卫星信号。在大城市, 由于高大建筑物的遮挡, 经常使 GPS 接收机接收到的卫星数目少于 4 颗; 同时, 磁场或电场等信号对 GPS 接收机接收卫星信号也有干扰, 造成 GPS 接收机无法正常工作。

基于上述原因, 单纯使用 GPS 接收机无法在导航过程中精确地确定汽车的位置, 必须增加其他约束条件。目前提高定位精度的方法主要有差分 GPS 法和 GPS 与惯性导航系统相结合法。这两种方法都可以有效地实现高精度的导航, 但都需要很高的成本, 这对于车载导航来说是不切合实际的。本文在导航实验过程中把道路网数据、车轮计数器和电子罗盘与 GPS 信号进行综合处

理, 取得了较好的实验结果, 同时又大大地降低了导航系统的总成本。

1 道路网络拓扑关系的建立和数据的预处理

在 GIS 中, 为了真实地反映地理实体, 记录的数据不仅要包含实体的位置、形状、大小和属性, 还必须反映实体之间的相互关系。这些关系通常包括实体间的邻接关系、关联关系和包含关系, 也称为拓扑关系。拓扑关系具有在图形连续状态下变形但其性质保持不变的特性, 另外, 通过拓扑关系, 可以将道路的全局检索变为局部检索, 大幅度提高数据的检索速度, 为数据的实时处理提供了良好的数据结构。在车载导航过程中, 由于只考虑 GIS 数据库中道路之间的连接信息, 因此只建立了道路网中的结点与弧段的关联关系。

为了提高以道路网作为约束条件时的计算速度, 对建立拓扑关系道路网数据进行了预处理, 对每条道路的属性表添加了与该道路相连的结点号和两个端点的方向属性^[1]。

2 用 GPS 接收机、电子罗盘与道路网数据确定汽车位置

虽然 GPS 接收机可以实时地提供汽车的位

置信息,但是单机的定位精度只有50m,无法满足导航的精度要求,尤其是在道路交叉口,如果单纯利用道路网数据作为约束,会导致汽车在几条道路之间跳动而不知驶向何处。这时如果利用电子罗盘传感器提供的方位信息作为约束会取得较好的效果。GPS、电子罗盘与道路网数据确定汽车位置的算法如下。

1) 确定汽车初始位置所在道路的ID号。可以用GPS提供的初始位置来搜索附近的道路,将汽车定位到道路上来,这时可以自动地消除垂直道路方向的误差分量。对于GPS沿着道路方向的漂移误差,在导航开始时,可以参考明显的标志(如道路交叉口、明显建筑物)人为加以改正(该误差不是很大,随着汽车的行驶可以减弱,所以一般可以不加以改正)。

2) 根据起始道路ID号确定该道路的结点编号和该条道路的空间坐标数据(预处理后的5m采样间隔离散的道路坐标数据)和属性数据。

3) 计算GPS定位信息 (X, Y) 到该条道路上的最近点,汽车即定位在该点上。在计算时采用的判断准则为: $\min(|X - X_i| + |Y - Y_i|)$, (X, Y) 为GPS定位信息; (X_i, Y_i) 为道路的坐标点数据。

4) 道路交叉口的特殊处理。如果步骤3)搜索到的点是道路的结点(起始或终止结点),则说明汽车已经到达道路的交叉口,通过结点和弧段的拓扑关系,根据结点编号找到与该结点相连接的道路,此时根据定向罗盘提供的方位信息,找出道路方位角与罗盘方位最接近的道路,该道路为汽车将要行驶的道路。否则,重复3),搜索下一个定位点。

实验表明,由于电子罗盘和道路网的约束,利用该算法避免了在道路交叉口和道路密集区单靠GPS导航可靠性差的缺点,同时利用道路网拓扑关系的数据结构保证了实时性和准确性,取得了很好的导航效果。

3 用车轮计数器、电子罗盘和道路网数据确定汽车位置

在GPS接收机信号正常的情况下,上述定位方法可以使汽车导航达到满意的效果。但是,当由于楼房的遮挡及外界环境的干扰,或汽车通过隧道时,较长时间无法通过GPS接收机来提供汽车的初始位置时,可以由车轮计数器和电子罗盘提供的信息用推测航法(dead reckoning)并以道路网数据作为约束对汽车进行定位。

推测航法是通过方向探测仪及车轮计数器等设备测算车辆行驶的方向和距离,并以此为原始数据,通过计算相对位移来确定车辆相对位置的方法。图1表示推测航法的定位原理。设车辆从点 $P_0(X_0, Y_0)$ 出发至某点 $P_n(X_n, Y_n)$,则 P_n 点的坐标可通过车辆行驶过程中在 $P_1 \sim P_{n-1}$ 采样点测得的角度 θ_i 和行驶距离 ΔS_i 计算。公式为:

$$X_n = X_0 + \sum_1^n \Delta S_i \sin \theta_i$$

$$Y_n = Y_0 + \sum_1^n \Delta S_i \cos \theta_i$$

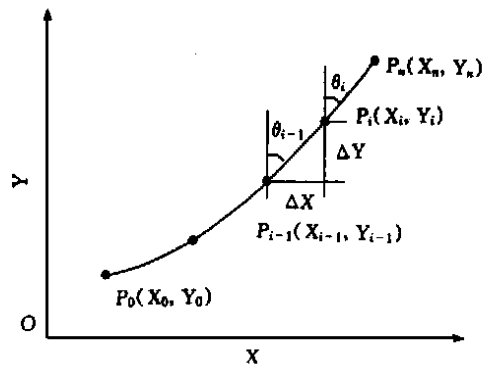


图1 推测航法定位原理

Fig. 1 The Principle of Dead Reckoning

推测航法中,车辆位置是通过各探测点测定值相累加得到的,也就是说,如果任意点 P_i 的测定值存在误差,则通过推测航法计算出的 P_n 点误差是各点误差的累积和。在这里,对推测的每一个点,用道路网数据作为约束进行点位误差改正,这样限制了误差的积累,提高了汽车定位的精度。具体算法如下。

1) 取GPS信号丢失的前一次的定位结果 $P_0(X_0, Y_0)$ 作为定位的绝对位置,汽车行驶的道路ID号为汽车正在行驶的道路。这时以车轮计数器记录的位置为零点开始记录。

2) 由车轮计数器提供的行驶路程信息 ΔS 和电子罗盘提供的角度信息 θ 确定汽车在两次信号采样之间 X 与 Y 方向上行驶距离的增量 ΔX 和 ΔY 。其中 $\Delta X = \Delta S \sin \theta$; $\Delta Y = \Delta S \cos \theta$ 。

3) 由 $P_0(X_0, Y_0)$, ΔX 和 ΔY 可以推算出 $P_1(X_1, Y_1) = P_0(X_0, Y_0) + (\Delta X, \Delta Y)$ 。

4) 计算出 $P_1(X_1, Y_1)$ 到汽车当前行驶道路上的最近点,该点为 $P_2(X_2, Y_2)$ 。在计算时采用的判断准则为: $\min(|X_{P_1} - X_i| + |Y_{P_1} - Y_i|)$,其中 (X_i, Y_i) 为道路的坐标点数据。

5) 道路交叉口的特殊处理。如果上一步搜索到的点是道路的结点(起始或终止结点),则说

明汽车已经到达道路的交叉口, 通过结点和弧段的拓扑关系, 根据结点编号找到与该结点相连接的道路, 此时根据电子罗盘提供的方位信息, 找出道路方位角与罗盘方位最接近的道路, 该道路为汽车将要行驶的道路。

6) $P_2(X_2, Y_2)$ 为汽车定位点。以 $P_2(X_2, Y_2)$ 点为起始位置, 以 $P_2(X_2, Y_2)$ 点所在的道路 ID 号为汽车当前行驶的道路 ID 号, 重复 2) ~ 6) 步。

实验表明, 当 GPS 接收机信号失效时, 在算法中由于道路网对推测航法推算的汽车位置的约束, 限制了误差的积累, 取得了很好的效果。

4 导航中汽车定位误差分析

为了讨论汽车的定位误差, 可以采用矢量分解的方法, 把定位误差分解成沿道路方向和垂直道路方向的误差分量, 如图 2(a) 所示。

对于汽车的定位, 由于用道路网数据作为约束条件, 通过道路网可以把汽车的位置“强制”

“拉”回到汽车行驶的道路上来。因此, 垂直于道路方向的误差分量, 通过道路网可以被消除。

沿道路方向的误差分量, 随汽车行驶轨迹的变化而变化, 如图 2(b) 所示, 其变化的关系式可以用下式来表示:

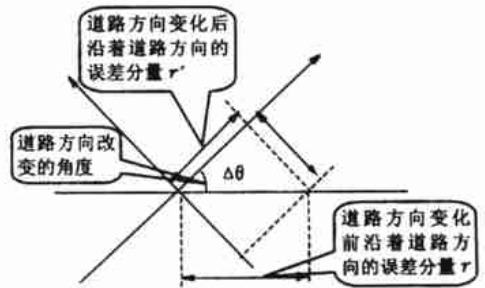
$$r' = r \cos \Delta\theta \tag{2}$$

式中, r' 为道路方向变化后沿着道路方向的误差分量; r 为道路方向变化前沿着道路方向的误差分量; $\Delta\theta$ 为道路方向改变的角度。

从该式可以看出, 当汽车行驶的方向不发生变化时, 沿着道路方向的误差不会发生变化, 并且随着时间的推移可能产生误差积累, 但是当汽车行驶的方向发生变化时, 沿着道路方向的误差就会被减弱。其减弱的程度与道路的变化方向 $\Delta\theta$ 有关, 当道路方向变化 90° 时, 沿着道路方向的误差基本上可以被消除。实际上, 道路方向长距离不发生变化的很少, 这样, 每一次道路方向的变化都会使沿着道路方向的误差被减弱, 因此, 汽车的定位误差不会随着导航时间的增长产生误差的积累, 保证了导航的精度。



(a) 误差分解示意图



(b) 误差变化分析

图 2 定位误差分析

Fig. 2 Positioning Error Analysis

5 实验

在车载导航系统中, 汽车位置的确定是其中的核心技术, 而评价汽车定位结果好坏的标志应该主要看所采用算法的实时性、可靠性及汽车的定位精度。在导航过程中使用了 GPS 接收机、车轮计数器、电子罗盘传感器和道路网作为汽车定位的约束条件, 能够对 GPS 信号丢失进行补偿。数次导航实验发现, 基于网络拓扑结构和多传感器的汽车定位方法在导航过程中可以取得很好的效果。实验结果如图 3 所示。可以看出, 无论汽车行驶在道路中间还是道路交叉口, 都能取得较好的定位结果。



图 3 汽车的定位结果

Fig. 3 The Positioning Result

参 考 文 献

- 1 王 密, 郭丙轩, 雷 霆, 等. 车载 GPS 导航系统中 GPS 定位与道路匹配方法研究. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(3): 248 ~ 251
- 2 徐爱功. 智能交通系统的建立及其与 GPS, GIS 相关关键技术研究: [博士论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学学报, 1998
- 3 王 楠, 王勇峰, 刘积仁. 车行轨迹曲线的实时提取与描述. 东北大学学报(自然科学版), 1999, 20(2): 111 ~ 113
- 4 Zhao Y L. Vehicle Location and Navigation Systems. USA: Arctec House Inc 1997, 43~75
- 5 Bullock B. A Prototype Portable Vehicle Navigation System Utilizing Map Aided. Proceedings of ION GPS-95, California, USA, 1995
- 6 Krakiwsky E J. Innovations in Vehicle Tracking and Navigation. GPS World, 1994, 5(2): 43 ~ 46
- 7 陈小明. 高精度 GPS 动态定位的理论与实践: [博士论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1997

作者简介: 王 密, 博士生. 现从事车载系统、海量数据管理和影像数据库研究.

E-mail: wangmi@rcgis.wtustm.edu.cn

Multiple Sensors and Road Network Used for Mobile Navigating

WANG Mi¹ GUO Bingxuan¹ LI Deren¹ GONG Jianya¹

(1 National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract. This paper presents a real-time positioning algorithm for mobile navigating based on topology of road network and sensors of GPS receiver, electronic compass, wheel counter. Through mobile navigating system experiments, it proves that this algorithm can solve signal loss of GPS receiver and acquire satisfied precision, high reliability and real-time result.

At present, GPS receiver is the major sensor in mobile navigating system. The positioning precision of single GPS can only reach 30 ~ 50 m. Due to the limited cost, it is impossible to process the signal of GPS by real-time difference to obtain high positioning precision. Because of the effect of GPS positioning error, when the car is running along the bridge, it may be positioned in the river. So the navigating precision is poor.

On the other hand, the principle of GPS is by receiving at least four satellite signals at the same time. Because the high buildings or the effects of other signals, such as electric field, magnetic field, etc. block the GPS signals, the number of received satellites by GPS receiver is less than four. So the GPS receiver can not work normally.

Based on the above case, only using GPS as positioning sensor is not enough in mobile navigating system. Other restriction conditions should be considered in order to get better navigation results. At present, the main methods of improving positioning precision are difference GPS and integration GPS with inertia navigation. Both methods can implement high precision navigation. However, the cost of navigation system is very high, and it is not practical for mobile navigation system. This paper does in-depth research on road net data and the sensors of GPS receiver, electronic compass, and wheel counter in mobile navigating system.

Key words: mobile navigation; GPS; electronic compass; wheel counter; network topology