

文章编号: 1002-0268 (2003) 05-0083-04

基于 GPS/DR 与 GIS 集成的城市车辆实时监控系统的设计与工程应用

朱庄生, 王 庆, 黄海华, 万德钧
(东南大学仪器科学与工程系, 江苏 南京 210096)

摘要: 结合香港某种车辆调派系统和南京市某银行运钞车实时监控系统的工程应用, 给出基于 GPS/DR/GIS 集成车辆导航系统的设计与组成, 以及系统各个模块之间的相互关系; 研究并提出适合车辆导航数字地图的数据组织, 大地坐标系与 WGS84 坐标系、WGS84 坐标系与独立坐标系间的相互转换关系; 详细介绍本系统在不同工程应用中各自实现的功能。本系统在香港实地跑车实验中, 在无 GPS 信号的情况下, 运用 DR/MM 定位模块连续定位 15min 后, 测得其定位精度小于 5m。

关键词: 车辆导航; 地图匹配

中图分类号: U495

文献标识码: A

City Vehicle Navigation Real Time Control System Design Based on Integration of GPS/DR and GIS and Its Application

ZHU Zhuang-sheng, WANG Qing, HUANG Hai-hua, WAN De-jun

(Department of Instrument Science and Engineering Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: The paper introduces the application of the vehicles assign system in Hongkong and the real time control system for bank paper money transport in Nanjing and explicates the Vehicle Navigation System design that is based on GPS/DR/GIS, made up of modules and connection among modules, with digital map data structure for vehicle navigation, and conversion between earth coordinate and WGS84 coordinate. The system position precision is less than 5 meter under the condition that dead-reckon and map-matching are used to position vehicle continually 15 minutes without GPS signal.

Key words: Vehicle navigation; Map matching

智能交通系统 (ITS) 成为今后交通发展的方向是必然的结果。作为智能交通系统重要组成部分, 车辆导航已经成为当今研究的热点。本文研究的城市车辆导航系统, 可以帮助汽车司机选择最佳路径, 为司机提前提供道路信息, 例如道路转弯、交通堵塞情况、交通事故易发区的提示, 降低交通事故的发生率, 提高运行效率和安全性。同时可以通过无线通讯的方式把车辆当前的实时位置上报给监控中心, 以达到对车辆的实时监控的目的, 这样监控中心就可以根据车辆实时运行情况对车辆进行调配和控制。本系统在香港实地跑车实验中, 在无 GPS 信号的情况下,

运用 DR/MM 定位模块连续定位 15min 后, 测得其定位精度小于 5m。

1 系统设计与组成

在导航系统中, 应用 GIS 组织管理路网数据库, 并对路网建立拓扑关系。GPS/DR 组合定位单元实时给出车辆当前的位置信息, 与 GIS 的地图数据进行匹配得出车辆在地图上的精确位置, 同时把车辆显示在 GIS 的图形界面上。这就是 GPS/DR 与 GIS 集成形式。

1.1 系统组成

系统分为硬件和软件两大模块, 如图 1 所示。其

中硬件部分主要负责原始定位信息的采集，交通信息、总控 (CCU) 信息的发送；而软件部分负责空间数据库采集处理以及一切与车辆导航相关的事务，如

GPS/DR 信息融合、地图匹配、最优路径选择、路径诱导，此外系统还必须有一些必要的人机接口 (HCI) 功能，如数据 I/O 等。

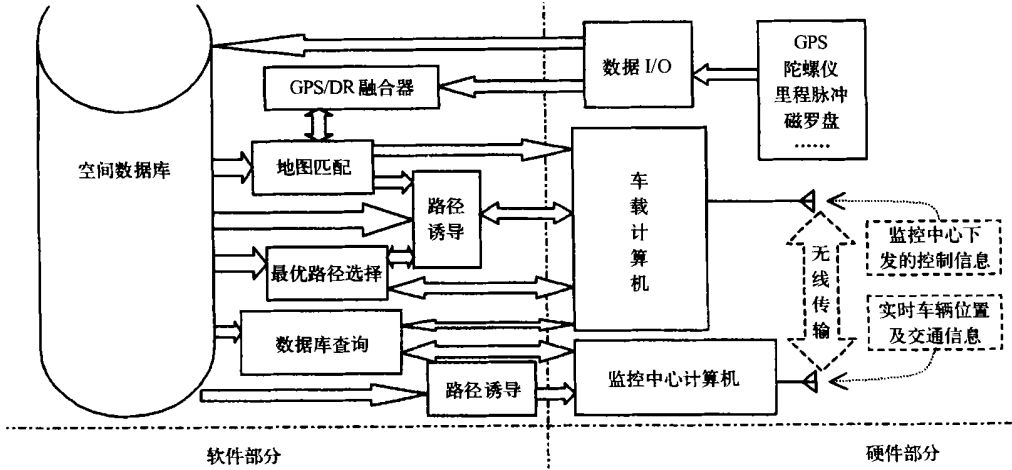


图 1 系统组成模块示意图

1.2 系统功能

地图的显示、缩放、漫游；查询功能，属性与图形的相互查询；最佳路径的搜索；实时显示车辆的当前位置和轨迹；当车辆处于无 GPS 信号区域时，用 DR 实时推算车辆当前位置；应用 GPS 精确数据自动修正 DR 的累积误差；长时间收不到 GPS 信号时，应用地图匹配的结果自动修正 DR 的累积误差；自动存储行车记录，实现历史行车轨迹的回放；对于特殊的车辆（如运钞车、囚犯车等），可以事先设置行车路线和行车区域，车辆超出预先设定行车路线或行车区域系统将自动发出警报，监控中心可以根据当时情况控制车辆报警模式：锁车、灯光报警等。

2 GPS/DR 融合数据与数字地图的匹配

2.1 对 GPS 信号的实时接收

系统中采用 Rockwell Jupiter-371 OEM 板获取 GPS 实时定位信息，DGPS 接收机和信标机为自行研制。

当车载 GPS 接收机接收不到 GPS 信号而无法定位时，启动 DR 定位功能，使车载定位系统仍能正常导航定位。当 GPS 接收机能正常定位时，用 GPS 精确定位结果重新初始化 DR 系统，以确保 DR 系统定位精度。同时，通过信息融合技术实现 GPS/DR 定位信息的最优综合。最后通过地图匹配模块实现 GPS/DR 数据与 GIS 矢量数据库的匹配，得到车辆在地图上的精确位置。匹配后的数据将按照中心的要求，由通讯模块连续发送回监控中心，在监控中心的大屏幕上实时显示车辆的位置。数据发送时的数据流程如图 2 所示。

2.2 对 GPS 信号的实时处理

(1) 投影变换(经纬度坐标到高斯平面坐标的变换)

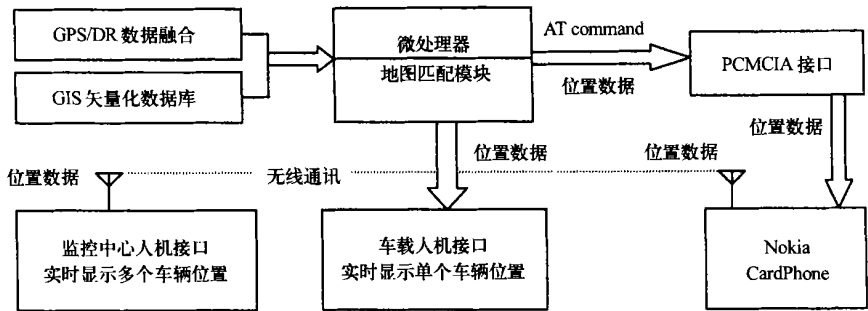


图 2 数据流程图

由于 GPS 接收机接收到的是经纬度坐标，因此，首先必须通过高斯投影将其转换成高斯坐标，转换公式如下

$$x = X_0 + \frac{1}{2} N t m_0^2 + \frac{1}{24} (5 - t^2 + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) N t m_0^4 + \frac{1}{720} (61 - 58 t^2 + t^4) N t m_0^6$$

$$y = Nm_0 + \frac{1}{6}(1 - t^2 + \eta^2)Nm_0^3 + \frac{1}{120}(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2)Nm_0^5 + 500000$$

式中,

$$X_0^B = C_0 B_f + \sin B_f (C_2 \cos B_f + C_4 \cos^3 B_f + C_6 \cos^5 B_f + C_8 \cos^7 B_f)$$

$$B_f = B \times \pi / 180, t = \tan B;$$

$$N = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}; m_0 = l \cos B;$$

$$\eta^2 = e^2 \cos B; l = L - L_0;$$

L 、 B 为坐标转换前的经纬度坐标; x 、 y 为转换后的高斯坐标; L_0 为投影带的中央经线坐标; C_0 、 C_2 、 C_4 、 C_6 、 C_8 为与点位无关而只与椭球参数有关的常数。

(2) 坐标变换 (高斯平面坐标到独立坐标的变换)

目前用在车辆导航中的电子地图主要存在两种坐标系基准: 一种是高斯平面坐标系; 另一种是独立坐标系。针对以独立坐标系基准的电子地图, 必须将其纳入到高斯平面坐标系中。电子地图的变形很小, 只需考虑平移和缩放参数, 变换公式为

$$X = xK + X_0$$

$$Y = yK + Y_0$$

式中, X 、 Y 为独立坐标系下点的坐标, x 、 y 为高斯平面坐标系下点的坐标, K 为缩放系数, X_0 、 Y_0 分别为 X 轴和 Y 轴方向的平移常数。

2.3 GPS/DR 融合数据与数字地图的匹配

根据 GPS/DR 得到的车辆实时位置、行驶方向, 利用数字地图存储的道路数据, 按照一定的算法将车辆位置匹配到道路上, 其算法如下:

(1) 以 GPS/DR 的定位点为中心, 在半径为 r (根据情况设定) 的范围内, 在数字地图数据库中搜索道路, 把搜索到的道路全部存储在道路集 $CRoadArray$ 中。

(2) 在道路集 $CRoadArray$ 中, 利用 GPS/DR 给定的当前时刻车辆行驶方向、车辆前一时刻的位置信息 (如车辆所在的道路 ID, 车辆行驶方向等) 以及数字地图中道路间的拓扑关系和道路属性等已知信息, 寻找最佳匹配道路。

(3) GPS/DR 的定位点在最佳匹配道路上的投影点即为车辆在当前时刻的匹配点。

(4) 利用匹配结果实时修正 DR 的累积误差。

3 系统 GIS 数据组织

3.1 道路网络模型

道路网络是面向车辆导航的数字地图数据库中最重要核心元素, 车辆导航中的诸多功能包括地图匹配、路径诱导以及最优路径的搜索等功能都依赖于道路网络对应的数据库。

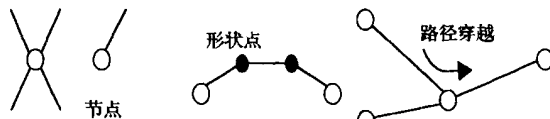


图3 道路网络中的几何元素和拓扑元素

图3显示了道路网络的基本拓扑关系和几何元素。图中节点反映了道路段与道路段的交点或路段终点, 形状点是指同一条非直线道路上的转弯点, 而路段的穿越反映了路段之间的邻接。节点可以用二维或三维的坐标表示, 节点和节点的联系可以用连接两点的直线 (直线道路) 或者多义线 (曲线道路) 表示。两条相邻的边构成一个道路段穿越, 它可以反映现实道路的邻接拓扑关系。

本系统运用的是基于道路节点连接的数字地图道路网络模型。其原理是将道路路段看成道路网络的核心单元, 而将道路节点看成路段的连接元素。其形式化定义为

$$\begin{cases} R_w = (N, R) \\ N = \{x \mid x \in RS\} \\ R = \{NR\} \\ NR = \{ \langle x, y \rangle \mid L(x, y) \wedge (x, y \in N) \} \end{cases}$$

其中, R_w 代表道路网, RS 是道路的有向路段集, NR 表示了道路网络两个路段的拓扑关系集合, 有序对 $\langle x, y \rangle$ 表示了有向路段 x 可以通行到有向路段 y , 谓词 $L(x, y)$ 表示了连接有向路段 x 到有向路段 y 的道路节点。该道路网络模型的特点在于:

(1) 任何一条双向道路路段都对应于两个有向路段, 当某个实际路段为单向时, 该地理实体仅对应一条有向路段;

(2) 由于道路网络是以路段为网络节点, 所以可以很方便地表示转向限制, 因为相邻的路段假如可以通行的话, 道路网络已经建立了一个以节点为连接的联系;

(3) 在道路路段中本身存储了起始和终止节点的信息, 因此上述模型可以方便地由路段获取节点, 或由节点获取其连接的路段信息。

3.2 路网拓扑关系的建立

如图3所示, 目前用于导航的数字地图模型中, 矢量实体构成要素都是点和线段, 而道路模型多为单路线型。对于纸质地图矢量化了的矢量源图, 道路路心

线需要用户通过手工方式添加，而航拍或遥感后图像中的公路网络经过线状特征提取可以直接得到道路中心线。不论是手工添加还是自动提取，道路数据在应用到车辆导航中时都需要经过一定的处理。本系统运用自行开发的软件工具，遍历路网数据库中的路心线自动生成道路拓扑关系，同时生成电子地图数据库。

4 工程应用

本系统已分别应用于香港某种车辆调派系统和南京市某银行运钞车实时监控系統。由于地理信息数据库的数据源不同，在两个系统的电子地图中我们采用了不同的坐标系。香港某种车辆调派系统的电子地图采用高斯平面坐标系，其界面如图 4 所示：上面的工具栏实现对地图的放大、缩小、查询、历史轨迹回放等功能。图中两条线是本系统在香港的实地跑车实验情况。其中 GPS/DR 原始轨迹线为 GPS/DR 融合后的试验原始数据，地图匹配后的轨迹线为 GPS/DR 原始数据经过地图匹配后的车辆实际行车路线。

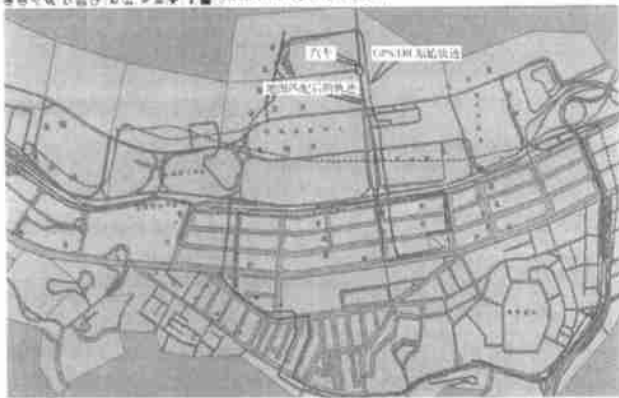


图 4 香港某车辆调派系统 GIS 界面



图 5 南京市某银行运钞车实时监控系統界面

图 5 为南京市某银行运钞车实时监控系统的界面，其电子地图采用独立坐标系。图中上面的工具栏基本和图 4 类似，左边为监控中心控制栏：车辆控

制：通过它用户可以事先设定行车路线或者行车区域，程序自动存储设定信息，已备下次调用；正常模式：通过它可以改变地图显示模式，一种是正常显示模式；另一种是报警显示模式，在该模式下，如果车辆超出事先设定的行车路线或者行车区域，软件将自动向监控中心发出警报；地图工具：用户通过该工具修改地图。本系统为了便于用户操作，修改地图仿制了 CAD 的绘图功能，用户可以运用鼠标绘制或删除道路，软件将自动修改数据库中的道路拓扑关系；在紧急情况下，中心下发对某一个车辆进行锁车命令，车载单元接收到该命令后将自动关闭油门实现锁车。

两个界面分别运用不同单元。图 4 的香港某种车辆调派系统界面应用于车载计算机上，主要功能是显示本车辆的实时位置，同时向监控中心发送本车辆的实时位置。图 5 的南京华夏银行运钞车实时监控系統界面应用于监控中心，主要功能是接收当前行驶在道路上的所有车辆发来的实时位置，把这些车辆的实时位置显示在界面上，同时它还要根据车辆运行以及交通拥塞情况实时的对某一辆或者某些车辆发出控制命令。

5 结论

本系统根据香港和南京市市区道路的特点分别采用了不同的定位方式。香港市区道路狭窄且道路两边高楼林立，在市区内车辆很难收到卫星信号。所以我们在香港某种车辆调派系统中采用了 GPS、DR 和地图匹配三者结合，组成 GPS/DR/MM 综合定位系统，这一定位系统已进入实施阶段。另外为了得到更好的效果，用户可以根据实际情况取消三者中的任意一项或两项（譬如取消 GPS，只采用 DR 和地图匹配，或者取消 GPS 和地图匹配，只使用 DR）。由于南京市市区道路收星状况良好，南京市某银行运钞车实时监控系統我们只采用了 GPS/DR 模式，这种定位模式的监控系统已在南京正式投入运行。

参考文献:

[1] 张小国. 面向车辆导航的 GIS 及其地图匹配技术的理论与应用 [D]. 南京: 东南大学, 2001.

[2] 刘炳云. 基于 GPS/DR/GSM 的道路交通信息系统的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2001.

[3] [美] 赵亦林著, 谭国真译. 车辆定位与导航系统 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.

[4] 修文群, 等. 地理信息系统 GIS 数字化城市建设指南 [M]. 北京: 希望电子出版社, 2001.