

文章编号: 1000-6893(2001) 02-0171-04

# GPS/INU/MM 车辆定位导航系统研究

苏惠敏, 周 鹏, 陈 哲

(北京航空航天大学 自动控制系, 北京 100083)

## STUDY ON GPS/INU/MM VEHICLE LOCATION AND NAVIGATION SYSTEM

SU Hui-min, ZHOU Peng, CHEN Zhe

(Dept. of Automatic Control, Beijing University of Aero. & Astro., Beijing 100083, China)

摘 要: 根据分段、特征提取等地图匹配关键技术探讨了地图匹配的一般原理。提出了基于航向信息的 INU (Inertial Navigation Unit)/MM (Map Matching) 算法, 以及基于卡尔曼滤波的 GPS/INU/MM 组合导航算法, 仿真结果表明上述方法是行之有效的。

关键词: 地图匹配; 组合导航; GPS; INU; 卡尔曼滤波

中图分类号: V249.3 文献标识码: A

Abstract: General principles on Map Matching are investigated according to segmentation and feature extraction, and an algorithm considering azimuth of vehicle for INU/MM system and a Kalman filter for GPS/INU/MM integrated system is proposed in the paper. Finally, a simulation example demonstrates the effectiveness of the proposed algorithm for the requirement of Vehicle Location and Navigation.

Key words: map matching; integrated navigation; GPS; INU; Kalman filter

在 GPS/INU/MM 车辆导航系统中, GPS 可提供全球性、低成本的位置、速度信息; INU 可提供连续的载体位置、速度及姿态信息, 但其定位误差随时间累积而变大, 不能单独作为车辆导航系统应用; 电子地图用于汽车导航的主要功能是为了在屏幕上标明汽车的运动位置。近年来由于电子地图制作方法的改进, 其精度得到了很大提高, 从而可以利用高精度的电子地图对汽车的位置进行修正。车辆导航从 80 年代末兴起以来, 已经在西欧尤其是日本得到了广泛应用, 但目前国内外对 MM 算法研究却较少见报道<sup>[1,2]</sup>, 本文从 MM 技术的一般原理出发, 系统研究 GPS/INU/MM 组合系统的定位算法。

### 1 地图匹配

地图匹配可分两步: 分段和特征提取。分段的原则为在每一段道路上汽车的运动可近似描述为直线运动; 对每段道路的特征提取可包括每一段道路的始末点坐标、每段道路的方位指向等。分段后可将每段道路的始末点以节点(node)的形式存储, 如图 1 所示路况可用表 1 的存储格式。

如图 2 所示,  $P$  点为由其他传感器/导航系统提供的车辆位置点,  $P_i, P_j, P_k, P_l$  为道路节点。由向量的点积和叉积定义可知, 车辆与其行驶的

道路之间的距离  $D$  可由式(1)计算, 匹配点  $P_M$  位置可由式(2)计算。

表 1 地图匹配节点存储格式

Table 1 Node save format of map match

节点号	经度	纬度	相邻节点
$P_0$	$\lambda(0)$	$L(0)$	$P_1$
$P_1$	$\lambda(1)$	$L(1)$	$P_0, P_2, P_3$
⋮	⋮	⋮	⋮

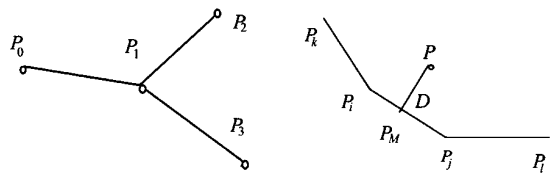


图 1 道路情况示意图

图 2 地图匹配示意图

Fig. 1 Sketch map of road

Fig. 2 Sketch map of MM

$$D = \left| \vec{P} \vec{P}_M \right| = \frac{\left| \vec{P}_i P \times \vec{P}_i P_j \right|}{\left| \vec{P}_i P_j \right|} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \left| \vec{P}_i \vec{P}_M \right| &= \frac{\left| \vec{P}_i P \times \vec{P}_i P_j \right|}{\left| \vec{P}_i P_j \right|} \\ \lambda_M &= \lambda_i + \frac{\left| \vec{P}_i \vec{P}_M \right|}{\left| \vec{P}_i P_j \right|} (\lambda_j - \lambda_i) \\ L_M &= L_i + \frac{\left| \vec{P}_i \vec{P}_M \right|}{\left| \vec{P}_i P_j \right|} (L_j - L_i) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

对于城市车辆导航系统, 一个城市中的道路可能有千万条。本文采用了移动加窗技术以节约

地图匹配时间,提高算法的实时性。

### 2 基于航向信息的 INU/MM 组合算法

INU/MM 算法包括地图匹配、航向角修正及转弯节点修正 3 个方面。

(1) 地图匹配 根据 INU 给出的航向信息,在移动窗口中寻找与车辆行驶方向接近的道路(本文取 20°),利用式(1),式(2)的 MM 算法匹配到距离最短的道路上。

(2) 航向修正 经地图匹配后可确定车辆所行驶的道路,利用地图匹配数据库得到道路的方向可用来修正 INU 的航向姿态信息。

(3) 转弯节点修正 当 INU 测量的车辆角速度大于某一阈值(本文取为 0.1rad/s),并且 INU 给出的位置信息接近于道路节点(本文取为 50m)时,认为汽车为转弯行驶状态,利用电子地图的节点信息对 INU 进行校正。利用转弯节点修正 INU,克服了传统 MM 算法只能修正垂直于道路方向误差的局限,可修正平行于道路方向的 INU 定位误差。

### 3 基于 Kalman 滤波的 GPS/INU/MM 组合算法

INU/MM 组合系统如经过长时间工作,由于 INU 的漂移,即使采用地图匹配也可能将车辆的位置匹配到错误的道路上;在城市环境中,高楼林立的街区、立交桥等都可能造成 GPS 信号遮挡, GPS/MM 系统不能提供连续的定位信息。GPS/INU/MM 组合定位导航系统可采用集中滤波方案或分散滤波方案。

(1) 集中滤波方案 集中滤波方案的原理如图 3 所示, ΔP 表示卡尔曼滤波器的位置误差估计值, P<sub>INU</sub>, P<sub>GPS</sub>, P<sub>MAP</sub> 分别表示 INU, GPS 及电子地图的位置输出。

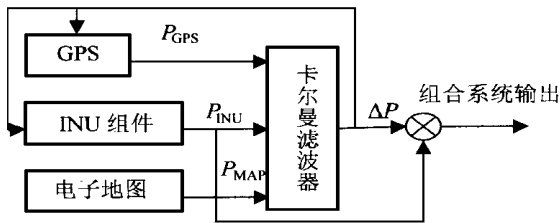


图 3 GPS/INU/MM 集中滤波方案

Fig. 3 Centralized filtering for GPS/INU/MM

假设 INU 组件由里程仪、陀螺组成,则根据航位推算原理可得车辆的位置如式(3)所示

$$\lambda = \frac{V \cos \varphi}{R_M + h} = \frac{V_N}{R_M + h}$$

$$\lambda = \frac{V \sin \varphi}{(R_N + h) + \cos L} = \frac{V_E}{(R_N + h) + \cos L} \quad (3)$$

$$V_E = sfN \sin \varphi, V_N = sfN \cos \varphi$$

式中: L, λ 分别表示经度和纬度; V, V<sub>E</sub>, V<sub>N</sub> 分别为车辆运行速度、及东向和北向速度; h 为高度; sf 为里程仪的比例因子; N 为在单位时间内轮胎转过的圈数; φ 为车辆的航向角,从当地正北方向顺时针转动为正。陀螺及里程仪的误差包括常值误差 δR, δsf<sub>b</sub>, 一阶 Markov 过程及白噪声 δR, δsf<sub>w</sub> 三项。

集中滤波的系统状态取为 X = [δL, δλ, δV<sub>E</sub>, δV<sub>N</sub>, δR, δsf<sub>b</sub>, δR, δsf<sub>r</sub>] , 则得状态方程<sup>[3]</sup>。量测方程为 GPS 和 INU 分别与电子地图相比较而得到的位置误差

$$Z = Hx + V \quad (4)$$

其中: Z = [L<sub>GPS</sub> - L<sub>INU</sub>; λ<sub>GPS</sub> - λ<sub>INU</sub>]; H = [I<sub>2×2</sub> O<sub>2×6</sub>]; V 为量测噪声。L<sub>GPS</sub>, L<sub>INU</sub> (λ<sub>GPS</sub>, λ<sub>INU</sub>) 分别为 GPS 和 INU 测得的经度(纬度)信息。此外在转弯行驶时, L<sub>GPS</sub>, λ<sub>GPS</sub> 用 L<sub>MM</sub>, λ<sub>MM</sub> 代替。

(2) 分散滤波方案 分散滤波方案的原理如图 4 所示, P, X, P<sub>1</sub>, X<sub>1</sub> (P<sub>2</sub>, X<sub>2</sub>) 分别表示主滤波器, 局部滤波器 1(2) 的方差阵和状态估计矢量, P<sub>INU</sub>, P<sub>GPS</sub>, P<sub>MAP</sub> 分别表示 INU, GPS 及电子地图的位置输出。

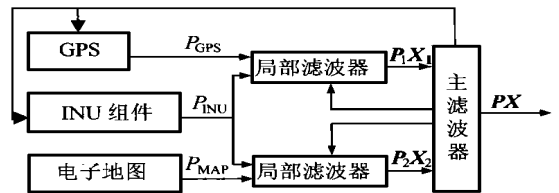


图 4 GPS/INU/MM 分散滤波方案

Fig. 4 Federal filtering for GPS/INU/MM

对分散滤波方案,选择 INU 系统为参考系统,局部滤波器以 INU 组件的误差作为状态,状态方程同集中滤波。GPS/INU 子滤波器的量测方程同式(4)所示, INU/MM 子滤波器的量测方程如式(5)所示。综合滤波器采用 Calson 的信息分配算法。

$$Z = \begin{bmatrix} L_{MM} - L_{INU} \\ \lambda_{MM} - \lambda_{INU} \end{bmatrix} = [I_{2 \times 2} \quad O_{2 \times 6}] X + V \quad (5)$$

### 4 仿真研究

仿真路线为北航东南门—健翔桥—三元桥—四元桥—蓟门桥—北航东南门,全长约 30km,总行驶时间为 1280s。GPS 误差包括对流层误差、电

离层误差、接收机噪声、时钟偏差、SA 误差。INU 误差取陀螺漂移 11.112km/h, 里程仪比例因子误差 0.0001 米/周。GPS 和 INU 系统误差分别如图 5、图 6 所示。

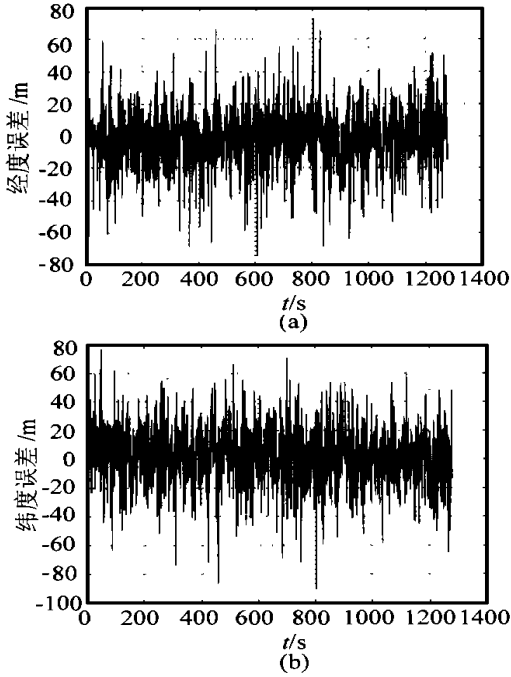


图 5 GPS 误差

Fig. 5 Simulation error of GPS

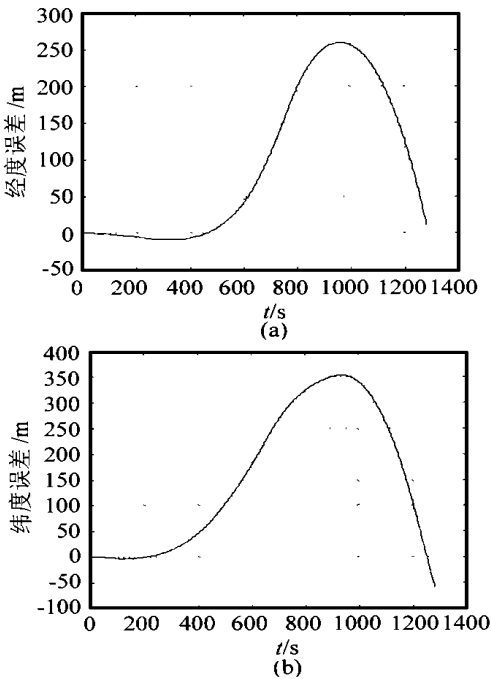


图 6 INU 误差

Fig. 6 Simulation error of INU

仿真结果表明, 在 20min 以内, 对于低精度陀螺应用本文提出的基于航向信息的 INU/MM 组合算法基本能匹配到正确的道路上, 如图 7 所

示。对 GPS/INU/MM 组合系统, 基于集中滤波的组合算法其性能要优于分散滤波组合算法, 如图 8、9 所示。采用普通 C/A 码接收机、低精度陀

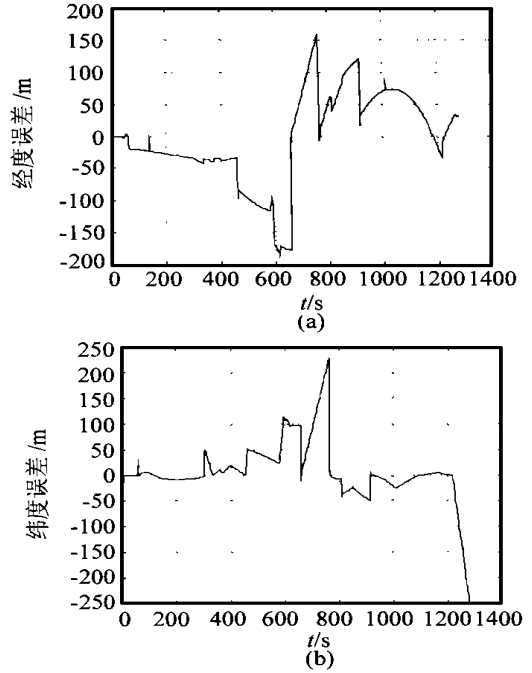


图 7 INU/MM 组合系统仿真误差

Fig. 7 Simulation error of INU/MM integrated system

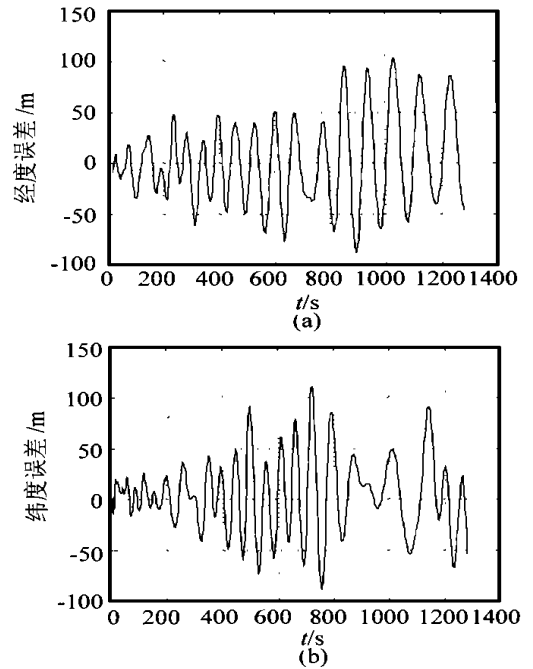


图 8 GPS/INU/MM 分散滤波误差

Fig. 8 Decentralized filtering error of GPS/INU/MM integrated system

螺, 通过 GPS/INU/MM 集中滤波算法定位精度达到 14.7099m, 基本上能满足城市车辆定位导航

的要求。各子系统/组合系统仿真的均方根值如表2所示。

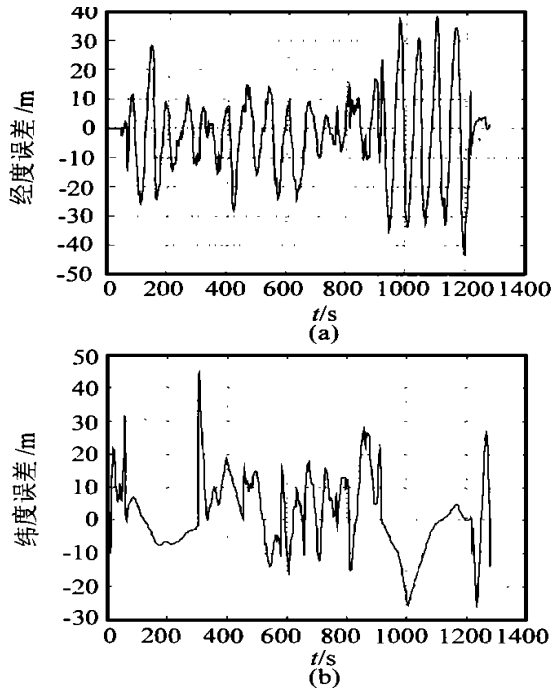


图9 GPS/INU/MM 集中滤波误差

Fig.9 Centralized filtering error of GPS/INU/MM integrated system

表2 子系统及组合系统误差的均方根(单位:m)

Table 2 RMS error of subsystem and integrated system

系统/子系统	经度误差	纬度误差
GPS	18.6713	21.5398
INU	102.053	136.144
INU/MM	71.8324	57.2885
GPS/INU/MM(分散)	42.2279	37.4655
GPS/INU/MM(集中)	14.7099	11.1604

## 参考文献

- [1] 赵亦林. 车辆定位与导航系统[M]. 谭国真译. 北京: 电子工业出版社, 1999. 89~109.
- [2] Poppen R F, Mathis D L. Integration of GPS with dead-reckoning and map matching for vehicular navigation[A]. 1993 ION National Technical Meeting[C]. San Francisco, California, 1993. 21~24.
- [3] 袁信, 余济祥, 陈哲. 导航系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993, 178~183.

### 作者简介:



苏惠敏 女, 1970年生。1998年毕业于北京航空航天大学自动控制系导航、制导与控制专业, 获博士学位。现为北京航空航天大学博士后。主要研究兴趣为信息融合, 多传感器组合导航/制导系统等。



周鹏 男, 1975年生。现为北京航空航天大学自动控制系硕士研究生, 主要研究方向为组合导航/制导系统。



陈哲 女, 教授, 博士生导师。主要从事自动控制, 导航与机器人技术等领域的教学与研究工作。曾在国家级等出版社出版著作8部, 在国际、国内核心期刊以及国内外学术会议上发表论文60余篇。

## 航空学报杂志社帐号变更通知

接中国工商银行通知, 航空学报杂志社从2001年元月1日起启用新的银行帐号, 原帐号不再使用, 请作者寄审稿费和版面费时按新的帐号办理。

新启用的帐号: 020000629089139764

帐户名: 航空学报杂志社

开户银行: 中国工商银行北京海淀区东升路分理处

(潘国勋)