

车辆定位系统中的信息融合方法^{*}

胡郁葱 曾悦 徐建闽

(华南理工大学 交通学院, 广东 广州 510640)

摘 要: 采用卫星定位 - 航位推算系统(GPS - DR)和数字音频广播 - GSM 移动通信系统(DAB - GSM)的融合定位系统,研究智能交通系统中各种先进的车辆定位技术,重点探讨了 GPS - DR 和 DAB - GSM 融合定位系统的原理和使用情况,给出了主要模型和公式,并对其特点进行了比较.结果表明,这两种技术都能在一定程度上满足高精度和低成本的要求,但应用层面并不相同;DAB - GSM 的研究成果将为 DAB 和 GSM 网络应用于车辆定位技术开拓新的空间.

关键词: 智能交通系统; 车辆定位; 信息融合

中图分类号: U 491.1⁺16

文献标识码: A

智能交通系统(ITS)主要由信息管理中心、路边系统、车内系统、需求管理系统和交通管理控制系统等组成.这些系统提供的服务中至少有 8 种需要知道车辆的实时位置,因此车辆定位技术在 ITS 中应用非常广泛.通常人们希望定位的精度越高越好,但同时又要求成本尽可能低廉.因此,研究如何在成本较低的前提下获得较高精度的定位信息是非常有意义的.本文中研究了一些先进的车辆定位技术,针对 ITS 各子系统对定位信息精度的不同要求,提出通过综合应用不同定位技术来满足各种精度要求的定位信息融合方法.

1 GPS - 航位推算系统

目前常用的卫星定位系统(GPS)提供的定位精度优于 10 m,但 SA (Selective Availability)的存在影响了 GPS 移动车辆的定位精度^[1]. SA 引起的最大误差约为 100 m,利用差分 GPS(DGPS)^[2]可以在一定程度上避免 SA 影响.该方法是将一台 GPS 接收机安置在基站上进行观测,根据基站已知精密坐标,

计算出基站到卫星的距离修正数,并由基站实时发送该数据.用户接收机在进行 GPS 观测的同时,也接收到基站发出的修正数,获得相对坐标,并对其定位结果进行改正,从而提高定位精度.但这种方法成本较高,需要建立差分站,要寻求一种成本相对较低而精度较高的定位方法,只能依靠现有定位技术的融合.

目前常用的车辆定位方法主要有两种:一种是航位推算,即通过累计车辆行驶方向的行驶距离估测车辆位置;另一种是绝对定位,即通过考察地标来计算车辆位置.航位推算的累计误差由车轮打滑和旋转漂移引起;而绝对定位不会产生累计误差,但却需要设置地标及标识地图, GPS 恰恰能提供相应的基础设施.将这两种方法互相取长补短进行结合,可形成一个优化的信息融合定位系统——卫星定位 - 航位推算系统(GPS - DR)^[3].

1.1 GPS - DR 定位方法

该系统使用车轮编码器测量车速,光视学陀螺仪测量车辆坐标系的偏航频率,滚动俯仰,传感器测量滚动和倾斜, GPS 测量车辆位置,如图 1 所示.由于丘陵地带车辆坐标系的偏航频率积分和平地坐标系的偏航频率积分不同,如图 2 所示,因此在平地坐标系必须补偿滚动和倾斜的影响.为方便起见, GPS 使用椭圆坐标(Cartesian 坐标系),数据融合前要将

收稿日期: 2003 - 04 - 04

^{*}基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(020945)

作者简介: 胡郁葱(1970 -),女,博士,讲师,主要从事智能交通系统理论与应用研究. E-mail: hycscut@163.com

平面坐标变换为目标地域坐标(用于位置估测的 Cartesian 的坐标系)。

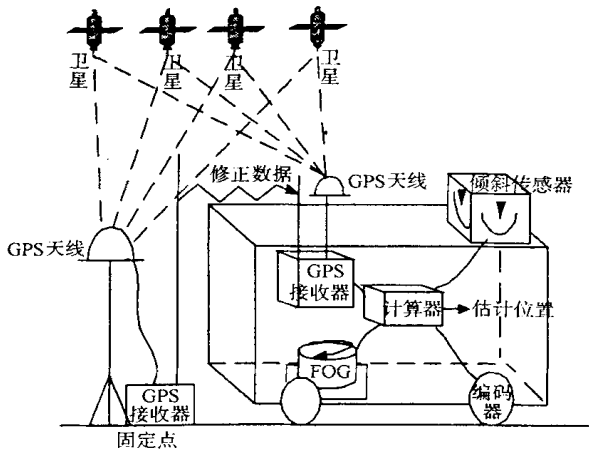


图1 GPS车辆定位系统

Fig. 1 GPS vehicle positioning system

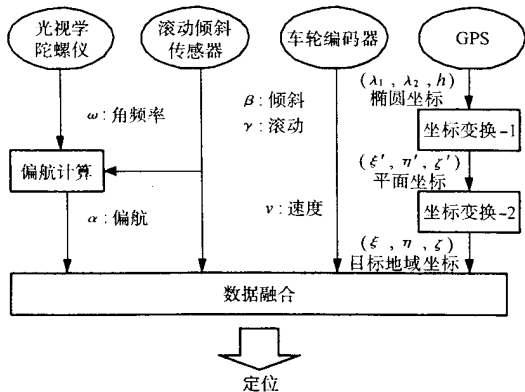


图2 数据流过程

Fig. 2 Flow of data processing

1.2 偏航的计算

在航位定位系统中,用3个固定在航位器上的 FOG(Fiber Optic Gyro)测量车辆坐标系的滚动角 ω_x 、倾斜角 ω_y 和偏航频率 ω_z ,坐标变换后 ω_x 、 ω_y 、 ω_z 分别转换成滚动 γ 、倾斜 β 和偏航 α ,车辆位置将用变换后的这3个参数进行计算^[4],即

$$\begin{cases} \omega_x = \dot{\gamma} - \dot{\alpha} \sin \beta \\ \omega_y = \dot{\beta} \cos \gamma - \dot{\alpha} \cos \beta \sin \gamma \\ \omega_z = -\dot{\beta} \sin \gamma + \dot{\alpha} \cos \beta \cos \gamma \end{cases} \quad (1)$$

在车辆定位系统中滚动 γ 和倾斜 β 直接由滚动倾斜传感器测量。

1.3 观察模型

为建立内部传感器模型,引入数据误差如下:
 Δv (速度误差)、 $\Delta \alpha$ (偏航误差)、 $\Delta \beta$ (倾斜误

差)、 $\Delta \gamma$ (滚动误差)。速度、偏航、倾斜和滚动的真实值可被表示为 $(v + \Delta v)$ 、 $(\alpha + \Delta \alpha)$ 、 $(\beta + \Delta \beta)$ 和 $(\gamma + \Delta \gamma)$ 。GPS 天线的位置和位置估测中心如图3所示。

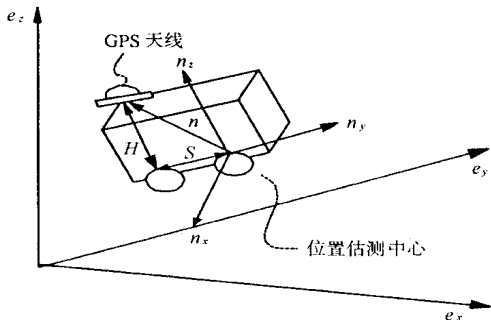


图3 GPS 天线的位置和位置估测中心

Fig. 3 Position of GPS antenna and the center of dead reckoning

车辆位置(两个非主动轮的中点位置)可采用下列方程组进行计算:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{A}_i + \mathbf{b}_i + \mathbf{u}_i & (\text{航位推算}) \\ \mathbf{y}_{C(i)} = \mathbf{C}_i \mathbf{x}_{C(i)-D} + \mathbf{d}_i + \mathbf{v}_i & (\text{GPS 定位}) \end{cases} \quad (2)$$

式中

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i &= [x_i \ y_i \ z_i \ \Delta v_i \ \Delta \alpha_i \ \Delta \beta_i \ \Delta \gamma_i]^T; \\ \mathbf{b}_i &= \mathbf{v}_i [\cos \beta_i \sin \alpha_i \ \cos \beta_i \cos \alpha_i \ \sin \beta_i \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T; \\ \mathbf{u}_i &= [0 \ 0 \ 0 \ u_{1i} \ u_{2i} \ u_{3i} \ u_{4i}]^T; \\ \mathbf{v}_i &= [\delta_{C(i)-D} \ \varepsilon_{C(i)-D} \ \kappa_{C(i)-D}]^T; \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \cos \beta_i \sin \alpha_i & v_i \cos \beta_i \cos \alpha_i & -v_i \sin \beta_i \sin \alpha_i \\ \cos \beta_i \cos \alpha_i & -v_i \cos \beta_i \sin \alpha_i & -v_i \sin \beta_i \cos \alpha_i \\ \sin \beta_i & 0 & v_i \cos \beta_i \end{bmatrix} \mathbf{d}_i =$$

$$\begin{bmatrix} -(S \cos \beta_i + H \cos \gamma_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + H \sin \gamma_i \cos \alpha_i \\ -(S \cos \beta_i + H \cos \gamma_i \sin \beta_i) \cos \alpha_i - H \sin \gamma_i \sin \alpha_i \\ -S \sin \beta_i + H \cos \gamma_i \cos \beta_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} k'_i \\ l'_i \\ m'_i \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C}_i = \begin{bmatrix} 0 & l'_i & (S \sin \beta_i - H \cos \gamma_i \cos \beta_i) \sin \alpha_i \\ E_3 & 0 & -k'_i (S \sin \beta_i - H \cos \gamma_i \cos \beta_i) \cos \alpha_i \\ 0 & 0 & -(S \cos \beta_i + H \cos \gamma_i \sin \beta_i) \\ & & H(\sin \gamma_i \sin \beta_i \sin \alpha_i + \cos \gamma_i \cos \alpha_i) \\ & & H(\sin \gamma_i \sin \beta_i \cos \alpha_i - \cos \gamma_i \sin \alpha_i) \\ & & -H \sin \gamma_i \cos \beta_i \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} k'_i \\ l'_i \\ m'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-S \cos \beta - H \cos \gamma \sin \beta) \sin \alpha + H \sin \gamma \cos \alpha \\ (-S \cos \beta - H \cos \gamma \sin \beta) \cos \alpha - H \sin \gamma \sin \alpha \\ -S \sin \beta + H \cos \gamma \cos \beta \end{bmatrix}$$

1.4 位置计算方法

位置误差向量 $x_{C(i)}$ 可由内部传感器数据 (v , α, β, γ) 和 GPS 数据 $y_{C(i)}$ 进行计算. 观察模型变成了卡尔曼滤波器模型, 位置误差向量用卡尔曼滤波方法进行计算.

从式(2)可知

$$x_{C(i)-D} = (A_{C(i)-D-1} \cdots A_{C(i-1)-D}) x_{C(i-1)-D} + \sum_{n=C(i-1)-D}^{C(i)-D-1} (A_{C(i)-D-1} \cdots A_{n+1}) (b_n + u_n).$$

观察模型式(2)重写为

$$\begin{cases} z_i = F_i z_{i-1} + g_i + h_i \\ s_i = C_i z_i + d_i + v_i \end{cases} \quad (3)$$

式中

$$F_i = A_{C(i)-D-1} \cdots A_{C(i-1)-D};$$

$$g_i = \sum_{n=C(i-1)-D}^{C(i)-D-1} (A_{C(i)-D-1} \cdots A_{n+1}) b_n;$$

$$h_i = \sum_{n=C(i-1)-D}^{C(i)-D-1} (A_{C(i)-D-1} \cdots A_{n+1}) u_n;$$

$$z_i = x_{C(i)};$$

$$s_i = y_{C(i)}.$$

将卡尔曼滤波方法应用于观察模型(3)便可以估计向量 z .

若 $z_i = x_{C(i)-D}$, 则实时位置计算如下:

当接收到 GPS 数据时,

$$x_{C(i)} = (A_{C(i)} \cdots A_{C(i)-D+1}) \hat{z}_i + \sum_{n=C(i)-D}^{C(i)-1} (A_{C(i)-1} \cdots A_{n+1}) b_n;$$

当接收不到 GPS 数据时,

$$x_{i+1} = A_i x_i + b_n.$$

2 DAB-GSM 融合定位系统

2.1 概述

随着 GSM 移动通信系统的日益发展, 人们开始考虑将 GSM 网络资源应用于定位. 已有研究表明 GPS-GSM 定位系统能可靠地定位移动电话的位置, 精度可小于 125 m, 但要求在 30 km 范围内有 3 个 GSM 基站. 这个要求很难达到, 尤其是在农村地区. 而一种新颖的 DAB-GSM 融合定位系统可以解决这个问题, 它用数字音频广播(DAB)发射器代替 GSM 基站为定位系统服务, 其精度可以达到 40 m. GSM 是一种窄波系统, 它没有精确的时钟, 无法应用例如到达时间 (TOA)^[4] 和到达时间差 (TDOA) 等需要时间同步的技术. 同时, GSM 信号对于干扰(例如多径多普勒漂移等)非常敏感, 只能提

供精度较差的角度信息. DAB 是一种多元广播的单频网络. 多元的意义是一个多元频率承担所有国内的服务, 也就是说国家基站和拨号产生在同一个地方. 而所有的 DAB 发射器必须同时在同样的频道发送同样的数据比特. 在这种单频要求下, 同步性显得具有举足轻重的作用, 因此我们用一个 GPS 时钟来使所有的 DAB 发射器同步, 再应用 TDOA 技术实现几十米范围精度的定位.

2.2 DAB-GSM 融合系统的定位

为了在 DAB-GSM 融合系统里使用 TDOA 技术, 所有的 DAB 发射器和 GSM 基站都必须精确地同步^[5]. 要达到这种要求成本将非常昂贵并且难以实现. 即使所有的 GSM 基站已经精密地同步(比如通过使用 GPS 时钟), 也并不表示 DAB 发射器和 GSM 基站是同步的, 同时每个相应信号的循环频率也是不同的. 此外, 在不考虑地形的情况下, 一般需要 3 个同步发射器来准确定位一个固定的接收器. 而移动接收器的位置就只能用 TDOA 方法根据行驶的距离进行估计. 目标移动得越快, 误差就越大. 为了解决上述问题, 考虑用 4 个或 4 个以上的发射器来代替通常使用的 3 个发射器^[6].

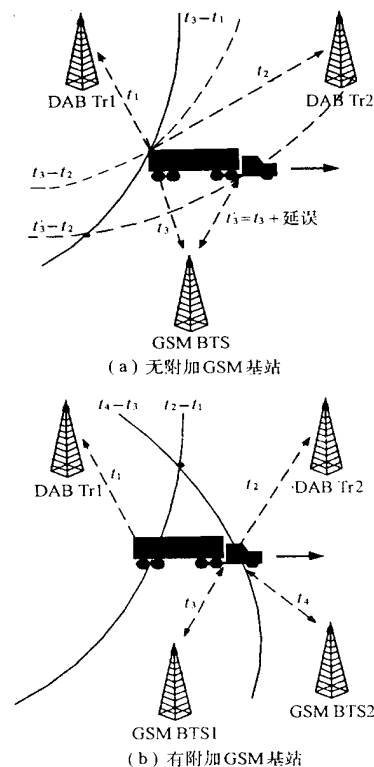


图 4 附加 GSM 基站的运用

Fig. 4 Use of additional GSM base station

TDOA 技术是基于相对时间参照系的,用两条双曲线表示传播时间差别的常量.利用两条或两条以上表示时间差常量的双曲线可以进行位置估算.但由于覆盖的原因,3 个同步的发射器可能只产生两条双曲线.改用两对不同的同步发射器(即两个 DAB 发射器和两个 GSM 基站)就能确实形成两条独立的双曲线:一条由同步 DAB 接收器形成;另一条由同步 GSM 基站形成.这种方法可以解决 TDOA 的覆盖问题,如图 4 所示.

2.3 数学方法

目前有很多关于 TDOA 定位系统方程的研究.然而,这些方法中的方程有些太复杂,不便于快速的数据处理;有些又太简单,得到的结果不尽人意.以下是一个只考虑 3 个发射器和 1 个接收器的可行的方程(设相对参考传播距离为 r_1).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} r_{2,1} \\ r_{3,1} \end{bmatrix} r_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ r_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\}.$$

式中: $[x, y]$ 是移动接收器的未知位置; $[x_i, y_i]$ 是相对发射器的已知位置; r_i 是相对传播距离,

$$\left. \begin{aligned} r_i &= \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \\ r_{i,1} &= r_i - r_1; \quad K_i = x_i^2 + y_i^2 \\ x_{i,1} &= x_i - x_1; \quad y_{i,1} = y_i - y_1 \end{aligned} \right\} \quad (i = 1, 2, 3).$$

由此,我们可以在二维平面计算移动车辆的位置.

3 车辆定位融合方法比较

以上研究了几种当前常用的车辆定位融合方法,这些方法均在不同程度上提高了精度,改善了定位系统的效率,因而在 ITS 中有不同的适用范围.表 1 给出了这几种方法的比较结果.

从表 1 中我们可以清楚地看出,本文中研究的 DGPS、GPS- DR 融合和 DAB- GSM 融合等三种方法,DGPS 技术的移动定位精度最好,但成本最高;GPS- DR 技术的移动定位精度次之,成本最低;而 DAB- GSM 技术的移动定位由于 DAB 网络的问题,目前在我国还没有获得应用. GPS- DR 技术和 DAB- GSM 技术这两种方法的应用层面并不一样. GPS- DR 技术主要应用于精度要求较高、并由高精度的定位而衍生出来的服务方面,而 DAB- GSM 技术主要应用于精度要求不太高,而网络相对健全、附加成本较低的情况.随着 DAB 和移动通信等网络的不断建设和完善,利用各种网络之间相辅相成的关系实现数据有效融合,将为移动定位技术的发展提供新

的途径.

表 1 几种定位信息融合方法的比较
Table 1 Comparison of the information fusion methods in positioning system

项目	信息融合方法		
	DGPS	GPS- DR	DAB- GSM
需要的设备	·GPS 接受仪 ·光学陀螺仪 ·车轮速度计	·GPS 接受仪 ·光学陀螺仪 ·车轮速度计	·GPS 接收仪 ·DAB 发射机 ·GSM 基站
对网络的需求	无	无	GSM(GPRS)
缺陷	大气延迟 多路效应	多路效应	无线电干扰 比独立系统 更低的精度 多路效应
期望精度	50 cm~10 m	5~15 cm	40 m
成本	高	低	较低
用途	·导航和路径 ·引导 ·自主车辆 ·导航 ·监控 ·自动车辆 ·识别 ·数据采集	·导航和路径 ·引导 ·自主车辆 ·导航 ·监控 ·自动车辆 ·识别 ·数据采集	·公共安全 ·事故和紧急 ·事件响应 ·车辆生产和 ·制造 ·自动音频 ·提醒 ·数据采集
目前应用情况	国外应用较广	我国应用较广泛	我国尚无应用

4 结束语

车辆定位系统是定位技术、计算机技术、地理信息系统和通讯技术的高度集成应用,是 ITS 的核心.本文中描述了适用于 ITS 共用信息平台不同精度要求的定位信息融合方法,考察了车辆定位系统,并给出了部分算法和模型.研究定位信息的融合方法,一方面是从系统角度出发,采用多传感器信息融合理论和技术,从整体上提高系统的定位精度和可靠性;另一方面为建立自动定位与导航服务的地理信息系统提供理论支持.

参考文献:

[1] Roenblatt D B. The impact of selective availability on precise relative position with static GPS [J]. Journal of the Geodesic Society of Japan, 2001, 38(1) :29 - 44.
[2] Enge Per K, Kalafus Rudolph M, Ruane Michel F. Differential operation of the global positioning system [J]. IEEE Communication Magazine, 1988(1) :48 - 60.
[3] Toshihiro Aono, Kenjiro Fujii, Shintaro Hatmmoto, et al.

- Positioning of vehicle on undulating ground using GPS and dead reckoning [A]. [s. n]. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation[C]. Belgium :Leuven ,1998. 468 - 477.
- [4] Drane C, Macnaughtan M, Scott C. Positioning GSM telephones [J]. IEEE Communications Magazine, 1998 (4) : 46 - 54.
- [5] Rooney S, Chippendale P, Choony R, et al. Accurate vehicular positioning using a DAB-GSM hybrid system [A]. [s. n.]. Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000 [C]. Tokyo : VTC 2000-Spring, 2000. 215 - 223.

Information Fusion Methods for Vehicle Positioning System

Hu Yu-cong Zeng Yue Xu Jian-min

(College of Traffic and Communications, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract: An advanced vehicle positioning technique in the intelligent traffic system had been investigated, putting stress on the principles and applications of the positioning system which combines GPS-DR with DAB-GSM, giving its main models and computing formulae and making a comparison of its characteristics. The results show that, to a certain degree, both techniques meet the requirements of high precision and low cost despite their different applied fields. However, the findings in the research on DAB-GSM will certainly carve out a brilliant future in the use of DAB and GSM networks for vehicle positioning techniques.

Key words: intelligent traffic system; vehicle positioning; information fusion

(上接第 68 页)

- [9] Tanaka T. Gels [J]. Scientific American, 1981, 244: 110 - 123.
- [10] 赵新, 杜有如, 叶朝辉. 聚丙烯酰胺水凝胶的¹H NMR 研究 [J]. 高分子材料科学与工程, 1994, 6: 108 - 110.
- [11] 单军, 刘铁军. 辐射合成 PAM 水凝胶吸附水状态研究 [J]. 高分子材料科学与工程, 1997, 13: 35 - 39.

Syntheses of Poly(N-isopropyl Acrylamide-co-3-sulfopropyl Acrylate Potassium Salt) Hydrogel and Its Properties

Lin Qiang He Jiangchuan

(Biochemical Engineering College, Beijing Union Univ., Beijing 100023, China)

Abstract: A kind of anionic thermo-sensitive hydrogel with high swelling ratio was prepared by the co-polymerization of N-isopropyl acrylamide (NIPA) monomer and 3-sulfopropyl acrylate potassium salt (SPAPS) with little amount in the presence of N,N-methylene-bisacrylamide (MBA). The thermo-sensitive property and the swelling property of the hydrogel and their dependence on anionic monomer content were discussed to characterize the shrinking and re-swelling kinetic behaviors. It was shown that the phase transition temperature, the swelling ratio and the water retention of the hydrogel would increase with the increasing of anionic monomer content in a certain range of it. Meanwhile, the gels were tried to be applied in the separation and absorption of raw glycyrrhizic and the concentration of protein solution to understand the performance of the hydrogel, and the corresponding results were interpreted by the state theory of water, which proves it possible for the hydrogel to be used in the separation of herb ingredients.

Key words: N-isopropyl acrylamide; anionic; thermo-sensitive hydrogel; distribution ratio; glycyrrhizic