A Method of Calculating the Parameters of Gyro On-Line in GPS/DR Based Vehicle Navigation

YIN Ai-chang, ZHANG Zhe, HU Chen

(National ASIC System Engineering Center, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Gyro is a commonly used inertial instrument in GPS/DR based vehicle navigation. The parameters of bias drift and the scale-factor are the key factors determining the precision of vehicle navigation. The parameter error is analyzed firstly. Then, a method of calculating the parameters of gyro on-line using the method of least square with the GPS data is proposed. The method is proved with an experiment lastly. The experiment result shows that this method is quick in convergence and meets the requirement of dead reckoning.

Key words: GPS/DR; method of least square; Gyro; scale-facor; bias drift

EEACC: 7630

基于 GPS/DR的车辆导航中在线计算陀螺仪参数的一种方法

尹爱昌,张 哲,胡 晨

(东南大学国家专用集成电路系统工程中心, 南京 210096)

摘 要:陀螺仪是 GPS/DR 组合导航中常用的一种惯性元件.陀螺仪的零偏漂移(bias drift)误差和比例因子(scale factor)误差直接决定了 DR(dead reckoning)导航的精度.首先分析了陀螺仪的误差模型,然后创造性地提出了一种利用 GPS 的输出信息用最小二乘法在线计算陀螺仪比例因子参数的方法,最后设计实验验证了该方法.试验证明,该方法收敛迅速,计算结果准确,有效提高了盲区导航的精度.

关键词: GPS/DR;最小二乘法; 陀螺仪; 比例因子; 零偏漂移;

中图分类号: V241.5 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2007)01-0177-03

近年来,随着经济的发展,城市的机动车辆越来越多,如何有效的指挥交通,成为摆在人们面前的一个难题. GPS(全球定位系统)具有全天候、定位迅速、精度高等优点,是目前车辆定位系统中普遍采用的方法.但是,GPS 本身是一种无线电导航定位,对于城市的高层建筑区、茂密的林荫道及立交桥等区域,受到卫星信号遮挡等多种因素的干扰,造成"丢星",使得 GPS"失效"而不能连续定位[1].而 GPS 与航迹推算系统(DR)相结合的系统方案能有效的弥补 GPS 的不足.航位推算系统中最常采用的是陀螺仪加里程计的方案[1].而陀螺仪的两个参数比例因子和零偏漂移与 DR 算法的导航精度密切相关.本文提出了一种利用 GPS 输出数据对陀螺仪参数进行在线校正的方法,并通过试验证明,是准确而可靠的.

1 陀螺仪误差模型及分析

陀螺仪的种类十分繁多,按照精度从高到低有静电陀螺仪,磁浮陀螺仪,液浮陀螺仪,激光陀螺仪,光纤陀螺仪,微机械陀螺仪.其中微机械陀螺仪又可以分为音叉式、框架式和震动轮式几种.微机械陀螺仪尽管精度比较低,但由于造价低廉,被普遍应用于 GPS/DR 组合导航中[2].

我们项目中采用的音叉陀螺仪的误差可以分为零位漂移误差、比例因子误差以及随机误差.其中比例因子误差在导航中的影响取决于汽车转弯的次数和角度.理论上,速率陀螺仪的输出经积分后航向变化误差与比例因子的误差成正比.比如,汽车进行 90° 转弯时,1.0 %的误差将导致 0.90° 的方向误差.而零位漂移误差对导航的影响是时时刻刻的,不管

收稿日期:2006-05-14

作者简介:尹爱昌(1982-),男,硕士研究生,研究方向为微电子与固体电子学、嵌入式系统设计,yinaichang@gmail.com;
张 哲(1976-),男,助教;
胡 晨(1967-),男,东南大学电子工程系教授.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

汽车拐弯或者走直线或是静止不动[3].

零位漂移(bias drift)误差受温度的影响变化很大,ERIC ABBOTT 曾经对两种不同厂家生产的低成本陀螺仪在相同温度变化环境中同时进行 48 h 的连续观测,发现陀螺仪的零位漂移与温度有强相关性.两种陀螺的零位漂移趋势基本一致[3],如图 1 所示.因此可以通过零位漂移对温度变化建立模型,并采用温度补偿的办法降低温度变化对零偏的影响.但这样做,需要增加一个温度传感器,增加了成本和系统的复杂度.而试验表明,比例因子(scale factor)参数随温度的变化是非常小的.在 0 ℃和 60 ℃的范围内变化小于 2.6 %.因此,可以把比例因子近似的看作是一个不随温度变化的陀螺仪的固定参数值.

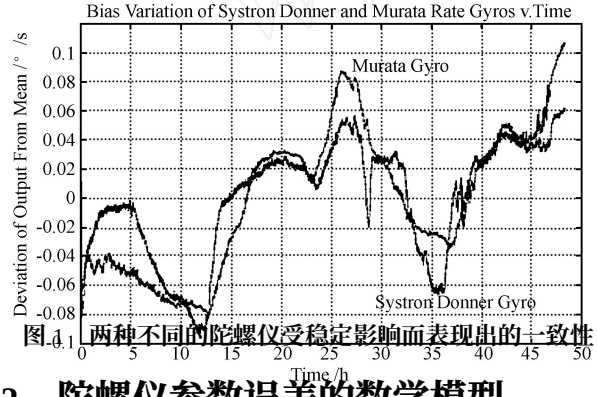


图 1 两种不同的陀螺仪受稳定影响而表现出的一致性

2 陀螺仪参数误差的数学模型

综上所述,我们可以建立如下的模型:

$$\omega_k = S_{gyro} \times (v_k - R_k) \tag{1}$$

其中:v_k 是 k 时刻陀螺仪的输出电平,R_k 是 k 时刻的零位漂移参数,S_{gyro} 是比例因子参数.ω_k 是经过计算得到的 k 时刻的角速度值.如果 $v_k > R_k$,则 $\omega_k > 0$,表示汽车右拐.反之,则表示汽车左拐.这样,问题就转化成求解参数 S_{gyro} 和 R_k 的问题了.

3 模型的求解

陀螺仪的零位漂移参数 R_k 的校正可以通过以下两种方式进行:(a)如果汽车在城市中行驶,那么由于有红绿灯,汽车肯定会走走停停.当车体静止时,角速度必然为零,将车体静止时的陀螺仪的输出电平数据取平均,即可以得到零位偏移量 R_k.(b)当汽车行驶在告诉公路上或是比较开阔的地方时,可以通过 GPS 输出的数据判断汽车行驶的路线是否为直线,如果是直线,就可以把此时陀螺仪的输出电平取平均值,作为零位偏移 R_k 的一个估计值.

把式(1)对时间求积分,即可得到:

$$\sum_k \omega_k \times \Delta t_k = S_{gyro} \times \sum_k (v_k - R_k) \times \Delta t_k \tag{2}$$

其中 Δt 为采样间隔,理论上采样间隔越小,积分的精度就越高.我们项目中选择的陀螺仪的采样间隔是 50 ms,基本能够满足要求.记 $\sum_k \omega_k \times \Delta t_k = \Delta\theta$, $\sum_k (v_k - R_k) \times \Delta t_k = M$,则式(2)可以记为

$$\Delta\theta = S_{gyro} \times M \tag{3}$$

一般认为左拐和右拐的比例因子是不同的,于是上式又可以改写为:

$$\Delta\theta = S_{left} \times M_{left} + S_{right} \times M_{right} \tag{4}$$

其中:S_{left} 表示左拐的比例因子参数,S_{right} 表示右拐的比例因子参数.

$$M_{left} = \sum_{v_k - R_k} (v_k - R_k) \times \Delta t_k \tag{5}$$

$$M_{right} = \sum_{v_k - R_k} (v_k - R_k) \times \Delta t_k \tag{6}$$

因此可以选择 GPS 置信度较高(可以根据 HDOP 等参数获知),而且汽车速度较快(以保证有较为准确的方向值)的时刻开始计算,记录此时的角度 θ_1,然后根据式(5)和式(6)不停的累加 v_k 得到 M_{left} 和 M_{right},直到到达一个 GPS 置信度较高,速度较快的时刻终止,记录此时的角度 θ_2.计算转过的角度 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$,然后带入式(4)即可得到一个方程.理论上联立两个方程就可以解出参数 M_{left} 和 M_{right}.

表 1 是一组根据实际记录的数据计算得到的 M_{left}, S_{right},和 $\Delta\theta$的值

表 1 M_{left}, S_{right} ——$\Delta\theta$对照表

M_{right}	M_{left}	$\Delta\theta$
5.4000	70.0703	- 57.3768
218.6216	- 263.1026	- 7.0000
117.9605	- 54.4244	27.9000
193.9546	- 21.4563	64.2000
41.5095	- 276.3395	- 79.3000
55.2501	- 197.3099	- 44.5000
453.9556	- 578.9000	248.1000

由于零漂误差的存在,M_{right} 和 M_{left} 是存在误差的,由于 GPS 的信号存在误差,$\Delta\theta$实际上也存在误差.直接由方程(4)求解得到的 S_{right} 和 S_{left} 误差比较大.为尽量减小方程系数和向量 b 的误差对 S_{right} 和 S_{left} 的求解产生的影响,我们可以联立多个方程,求解残差平方和最小意义下的最优解.

若记 $M = \begin{bmatrix} M_{right1}, M_{left1} \\ M_{right2}, M_{left2} \\ \cdots\cdots \\ M_{rightN}, M_{leftN} \end{bmatrix}$ $b = \begin{bmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \cdots\cdots \\ \Delta\theta_N \end{bmatrix}$ $S_{gyro} = \begin{bmatrix} S_{right} \\ S_{left} \end{bmatrix}$

得到如下超定方程:$M \times S_{gyro} = b$ (7)

(1) 系数矩阵规一化,我们采用如下迭代算法求解:记 $M_{maxi} = \max\{M_{righti}, M_{lefti}\}$,

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\overline{M} = \begin{bmatrix} M_{right1}/M_{max1}, M_{left1}/M_{max1} \\ M_{right2}/M_{max2}, M_{left2}/M_{max2} \\ \cdots\cdots \\ M_{rightN}/M_{maxN}, M_{leftN}/M_{maxN} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \Delta\theta_1/M_{max1} \\ \Delta\theta_2/M_{max2} \\ \cdots\cdots \\ \Delta\theta_N/M_{maxN} \end{bmatrix}$$

(2) 用最小二乘法求解超定方程(7).

$$S_{gyro} = \left(\overline{M}^T\overline{M}\right)^{-1}\overline{M}^T\overline{b}.$$

(3) 记 $\beta = \overline{M}S_{gyro} - \overline{b}$,则 β 代表残差向量.比较残差向量元素绝对值的大小,不妨设向量 β 的第 i 个元素 $\beta = \max(|\beta|)$.如果 $\beta \geq \varepsilon$,其中 ε 是经验值.如果则将矩阵 $\overline{M}$ 的第 i 行和向量 $\overline{b}$ 的第 i 行去掉.返回第(2)步,重新求解 S_{gyro}.直到 $\beta < \varepsilon$,退出循环.我们认为此时得到的 S_{gyro} 是真值的一个最优估计.

下面是我们利用表(1)中的数据计算得到的结果:

表 2　由表 1 中数据计算所得数据

迭代次数	1	2	3	4	5
S_{right}	0.3927	0.3731	0.3635	0.3698	0.3666
S_{left}	0.2556	0.3388	0.3356	0.3352	0.3296
β	0.3762	0.0197	0.0117	0.0073	0.0016

由表 2 可知,陀螺仪的尺度因子参数 S_{right} 和 S_{left} 随着迭代的次数收敛的很快,残差 β 很快的趋近 0.

4　实验及结果

为了验证我们结果的正确性,我们做了一个试验,在这个试验中把从 GPS 中接收到的位置信息和用陀螺仪及里程计用航位推算计算得到的位置信息做了对比,并在图(2)中表示.航位推算中陀螺仪地参数是用文中提到的方法在线计算得到.可以看出,由航位推算得到的结果和 GPS 吻合的相当好.经过一段超过 5 km 的路程,误差范围不超过 100 m.因此,$S_{right} = 0.3666$,$S_{left} = 0.3296$ 就可以看作尺度因子的一个很好的估计.这样,车辆行驶过一段时间后,就可以在线地比较准确的计算出陀螺仪的比例因子参数.由此也验证了我们计算陀螺仪参数的算法的正确性.

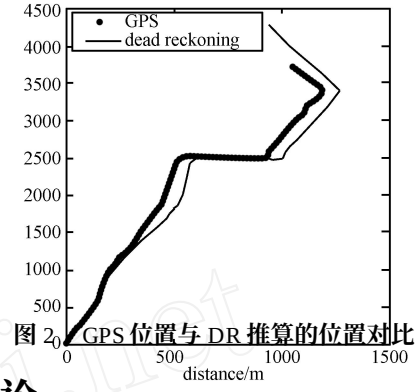


图 2　GPS 位置与 DR 推算的位置对比

5　结论

本文提出了一种基于 GPS/DR 的车辆导航系统中陀螺仪参数的在线校正方法,其中主要是尺度因子参数的在线校正.试验数据表明,本文提出的在线计算方法收敛速度很快,计算结果可靠,能有效的提高盲区导航的精度.这种方法的缺点是必须要经过一段比较长的时间才能得到一个比较准确尺度因子参数.

参考文献:

[1] 李本亮. GPS 车载导航系统中的航位推算技术[J],全球定位系统,2004.1.

[2] 姜璐,于远治,吉春生. 陀螺仪在导航中的应用及其比较[J],船舶工程,2004 年,第 26 卷第 2 期.

[3] Eric Abbott, David Powell. Land-vehicle navigation using GPS [J]. proceeding of the IEEE[C]//Jan,1999,87(1):145-162.

[4] 徐景硕. 惯性传感技术及发展[J]. 传感器技术, 2001,20(5).

[5] 孙小国,王庆,万德均. 车载组合导航定位系统中传感器参数的实时校正[J]. 仪表技术与传感器,2000 年.

[6] 吴训忠,周军,郝顺义. 惯导对准过程中陀螺仪漂移测量研究[J]. 西北工业大学学报 2004,10,22(5).

[7] 徐丽娜,邓正隆. 陀螺仪漂移特性的小波分析[J]. 中国惯性技术学报,2001.9.

[8] 刘春宁,田蔚风,金志华. 自适应格型算法对动调陀螺仪随机漂移的建模[J] 上海交通大学学报, 2002,36(7).

(上接第 176 页)

参考文献:

[1] Zeev Zalevsky, Steven Lashansky and Nir Saad. A Technique for Estimating the Launching Position of a Ballistic Trajectory [J]. SPIE, 2002,4745: 86-94.

[2] 北京宇航学会丛书编委会编.威力强大的弹道导弹[M]. 天津:南开大学出版社,2002.21-22.

[3] 廖媛.红外图像中运动小目标的检测[J]. 红外,中国科学院上海技术物理研究所,2002,(4):6-9.

[4] 于起峰,陆宏伟,刘肖琳.基于图像的精密测量与运动测量[M]. 科学出版社,2002,43-49.

[5] 何斌,马天予,王运坚等. Visual C++数字图像处理(第二版)[M]. 人民邮电出版社,2002,12,120-121.

[6] 王正明,易东云. 测量数据建模与参数估计[M]. 长沙:国防科技大学版社,1996.167-169.

[7] 芮筱亭,陆毓琪,王国平等. 多管火箭发射动力学仿真与试验测试方法[M]. 北京:国防工业出版社,2003.4-5.

[8] 崔书华,胡绍林. 火箭垂直起飞段漂移变化的建模与分析[J]. 飞行器测控学报,2005,24(2):7-10.

[9] 张如洲,张平,李葆汇等. 加速度对固体火箭发动机内弹道性能的影响[J]. 推进技术. 2000,21(3):6-8.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net