

Method of Coordinate System Unity in MEMS-IMU/GPS Integrated Navigation System*

KONG Xianglei, LI Jie*, DU Ying

(National Key Laboratory For Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In view of the problem that the coordinate systems are not unitive when fusing the data of MEMS-IMU/GPS integrated navigation system, a conversion method from GPS coordinate system (WGS-84 coordinate system) to the inertial coordinate system (local level mobile coordinate system) was presented. Based on the conversion from GPS coordinate system to the west-north-up inertial coordinate system, the west-facing mobile yaw angle was calculated, and finally, the unity of coordinate systems was completed. Practical sports car experiment validates that the deviation between the yaw angle which converts the information from the GPS coordinate system to the inertial coordinate system and the yaw angle of inertia system is less than 1° , achieving the precise unity of the two coordinate systems and illustrating some reference in practical engineering applications.

Key words: GPS; INS; integrated navigation; coordinate system unity

EEACC: 6330

MEMS-IMU/GPS 组合导航系统中坐标系统一的方法研究*

孔祥雷, 李杰*, 杜英

(中北大学电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051)

摘要: 针对 MEMS-IMU/GPS 组合导航系统数据融合时坐标系不统一的问题, 提出了一种由 GPS 坐标系 (WGS-84 坐标系) 到惯性坐标系 (当地水平游移坐标系) 的转换方法。该方法在由 GPS 坐标系转换到西北天惯性坐标系的基础上, 计算与西向的游移偏航角, 最终完成坐标系的统一。经实际的跑车实验验证, 由 GPS 信息转换到惯性坐标系下的偏航角与惯性偏航角偏差小于 1° , 精确的实现两坐标系的统一, 在实际的工程应用中具有一定的参考价值。

关键词: GPS; INS; 组合导航; 坐标系统一

中图分类号: TN96

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)04-0522-03

在导航系统中, 惯性导航系统 (INS) 具有动态性能好、短期准确度高等优点^[1]。而全球定位系统 (GPS) 可给出精确的位置、速度信号, 但在动态环境中可靠性差、系统非自主性。信息融合技术能充分发挥各系统的优点, 互相取长补短, 可获得良好的导航准确度和可靠性^[2]。但是微机械陀螺的精度比较低, 以 MEMS 惯性器件组成的微惯性测量单元 (简称 MIMU) 没有寻北的功能。在实际的地面跑车实验中由于惯导系统不能提供北向方位角, 而采用当地水平游移坐标系为初始位置, 以起始位置为零位置进行位置姿态的解算。在进

行 MIMU/GPS 组合导航系统的信息融合时, 就需要将 GPS 坐标系 (WGS-84) 转换到惯性坐标系下, 进而和惯导系统解算的位置信息和姿态信息融合或修正^[3]。

1 两坐标系的统一

GPS 信息转换到地方游移坐标系下的信息转换需要三个步骤: (1) WGS-84 坐标系下的 GPS 信息转换到空间直角坐标系; (2) 空间直角坐标系下的 GPS 信息转换到西北天惯性坐标系; (3) 惯性坐标系下的 GPS 信息转换到地方游移坐标系。

1.1 WGS-84 坐标系下的 GPS 信息到空间直角坐标系的转换

地心大地坐标系是坐标系原点为地球椭球中心(即地球质心);坐标系 Z 轴为地球短半轴,指向地极;地球椭球起始子午面于格林尼治子午面重合,X 轴由坐标系原点指向起始子午面与地球椭球赤道的交点,Y 轴与 X、Z 轴构成右手坐标系^[4];地心直角坐标系是:坐标系原点为地球质心,Z 轴由原点指向地球地极,X 轴与 Z 轴正交、指向格林尼治子午线与赤道的交点。

地心大地坐标系与地心直角坐标系实质上是同一坐标系下的两种表述方式。在进行 WGS-84 坐标系和地方游移坐标系统一过程中,首先要先将经纬度的信息转变成直角坐标系下的矢量。

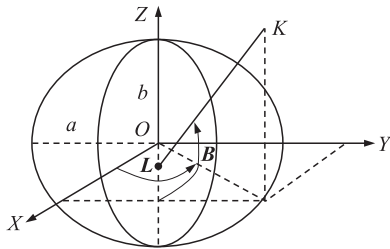


图 1 地心大地坐标系示意图

已知目标 K 在大地坐标系下的位置(L, B, H), 求(X, Y, Z)的公式^[5]为:

$$\begin{cases} X = (N + H) \cos B \cos L \\ Y = (N + H) \cos B \sin L \\ Z = ([N(1 - e^2) + H] \sin B \end{cases} \quad (1)$$

式中:L、B、H 分别为大地坐标系下的经度纬度和高度;X、Y、Z 分别为转换后的直角坐标系下矢量;N 为椭球的卯西圈半径($N = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$), e 为椭球的第一偏心率($e = (\sqrt{a^2 - b^2}) / a$), 而 a、b 分别为椭球长短半轴。

1.2 直角坐标系下的 GPS 信息到西北天惯性坐标系的转换

首先使直角坐标系绕 Z 轴旋转 $L - 90^\circ$, 使 Y 轴指向当地所处经度线, 坐标系变为 $[X_1 Y_1 Z_1]$; 然后绕 X 轴旋转 B, 使 Y 轴指向天, X 轴指向西, Z 轴指北坐标系为 $[X_2 Y_2 Z_2]$; 再经过坐标系的平移得到 $[X_3 Y_3 Z_3]$, 这就完成了直角坐标系到西北天的转换^[6]。公式如下:

$$\begin{aligned} L_1 &= L(1) - \pi/2 & B_1 &= B(1) \\ \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos L_1 & \sin L_1 & 0 \\ \sin L_1 & \cos L_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos B_1 & \sin B_1 \\ 0 & -\sin B_1 & \cos B_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_2(1) \\ Y_2(1) \\ Z_2(1) \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中:L(1), B(1)为初始时刻的经纬度。

1.3 西北天惯性坐标系下的 GPS 信息到地方游移坐标系的转换

本文中当地水平游移坐标系取 X 轴水平向前, Y 轴垂直水平面向天, Z 轴与 X、Y 轴正交指向 X 轴右方。转换后的 $[X_3 Y_3 Z_3]$ 坐标系(即当地的西北天)与游移坐标系还存在一个角度 α , 绕 Y_3 旋转 α 角, 即得到当地水平游移坐标系。

下面给出在 $[X_3 Y_3 Z_3]$ 坐标系下求 α 角的方法: 车体直线前行一段距离(大概 30 ~ 40 m)对 GPS 数据采集; 对采集的数据进行最小二乘法线性拟合出与西向夹角。公式如下^[7]。

令 $z = ax + b$, $S = \sum_1^n (z_i - ax_i - b)^2$, 对 a、b 分别求偏导并令偏导为零得

$$\begin{cases} \sum_1^n x_i^2 a + \sum_1^n x_i b = \sum_1^n x_i z_i \\ \sum_1^n x_i a + nb = \sum_1^n z_i \end{cases} \quad (5)$$

由(5)式解得:

$$a = \frac{n \sum_1^n x_i z_i - \sum_1^n x_i \sum_1^n z_i}{n \sum_1^n x_i^2 - (\sum_1^n x_i)^2}, b = \frac{n \sum_1^n x_i^2 - \sum_1^n x_i \sum_1^n z_i}{n \sum_1^n x_i^2 - (\sum_1^n x_i)^2}$$

角度 $\alpha = \text{atan}(a)$, 由 $[X_3 Y_3 Z_3]$ 坐标系绕 Y 轴旋转 α 得到当地水平游移坐标系 $[X_4 Y_4 Z_4]$ 。

$$\begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & 0 & -\sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中: x_4 、 y_4 、 z_4 即为转换到地方游移坐标系下的 GPS 信息, 即分别对应了当地水平游移坐标系下 X、Z 和 Y 轴向的位移。

2 实验验证

本系统以 NewStar220EGPS 接收机和 ADXRS150MEMS 陀螺仪组成的 MIMU 为组合传感器, 以实时采集解算电路为数字处理平台^[8-9], 以三菱越野车为运动载体, 对太原市某路段进行跑车实验, 起始路段为

1 500 m 的直线,以此来验证偏航角的解算精度,因此起始路段偏航角的理论值为 0° ,实际的实验结果如图 2 所示。其中 GPS 数据偏航角按照以上步骤解算,惯性数据偏航角以捷联惯性导航解算^[10-12]。由图可看出在起始段 100 s 内,由惯性仪表测量数据和 GPS 数据解算出的偏航角基本一致,偏差都在 1° 之内,说明 GPS 信息完成了到当地水平游牧坐标系的转换,实现了数据在不同坐标系下的统一。100 s 后惯性解算的偏航角随时间的增长误差增大,在 950 s 处回到出发点,由惯性解算出的偏航角误差已经达到 60° ,也间接说明了由惯性传感器解算的信息短期精度高而长期稳定差的特点。

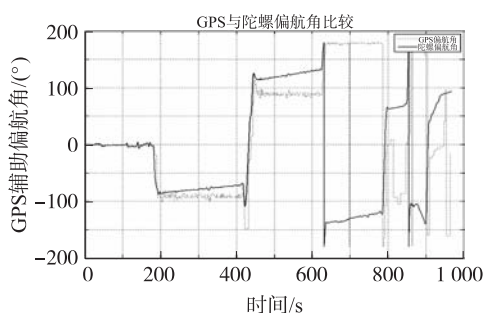


图 2 惯性和 GPS 解算偏航角对比

3 结束语

本文方法解决了在无寻北功能惯性器件下的组合导航系统坐标系统的问题,使两个坐标系的数据能够密切的衔接,为进一步实现数据融合奠定基础。



孔祥雷(1983-),男,山东兖州人,现为中北大学在读硕士研究生,研究方向为惯性导航、组合导航等, kong_lei2005@126.com;

实验的结果充分说明了此方法的可行性和有效性,在组合导航系统数据融合的研究中具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 付相松,高社生,张学渊. 基于 MEMS 技术车载组合导航系统研究[J]. 计算机测量与控制,2009,17(2):338-340.
- [2] 周坤芳,吴晞,孔键. 紧耦合 GPS/INS 组合特性及其关键技术[J]. 中国惯性技术学报,2009,2(17):42-45.
- [3] 祝建成,吴美平,逯亮清. 车载 GPS/光纤陀螺组合导航定姿技术研究[J]. 微计算机信息,2009,25(5):192-194.
- [4] 熊志昂,李红瑞,赖顺香. GPS 技术与工程应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005. 52-54.
- [5] 郭春梅,马艳敏,王岩飞. IMU/GPS 组合导航中坐标系变换问题的研究[J]. 宇航计测技术,2007,27(1):7-9.
- [6] 于波,陈云相,郭秀中. 惯性技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1994. 6-7.
- [7] 闫蓓,王斌,李媛. 基于最小二乘法的椭圆拟合改进算法[J]. 北京航空航天大学学报,2008,34(3):296-297.
- [8] 东方联星. OlinkStar NewStar220E GPS OEM 接收机使用说明[Z]. 北京:东方联星科技公司,2007.
- [9] ADLOG DEVICES 公司. ADXRS150 数据手册[Z]. 美国:ADLOG DEVICES 公司,2004.
- [10] 严恭敏,秦永元. 低精度的 SINS/GPS 组合导航系统中初始航向对准技术[J]. 传感技术学报,2007,20(1):238-240.
- [11] 薛亮,李天志,李晓莹,等. 基于 MEMS 传感器的微型姿态确定系统研究[J]. 传感技术学报,2008,(3):458-459.
- [12] 王志胜,周军,周凤岐. GPS/陀螺组合对小卫星姿态的最优估计[J]. 西北工业大学学报,2002,(1):122-123.



李杰(1976-),男,中北大学硕士生导师,研究方向为惯性导航、组合导航。