

航位推算法在导航定位中的仿真研究

张浩旻 管雪元

(南京理工大学瞬态物理国家重点实验室 南京 210094)

摘要: 航位推算(DR)法最初用于船舶的航行定位中,所使用的加速度计、磁罗盘、陀螺仪成本高,尺寸大。而随着微机电系统技术的发展,加速度计、数字罗盘、陀螺仪尺寸、重量、成本都大大降低,使得其可以在行人导航中得以应用。针对DR算法的原理,利用GPS/INS紧密组合导航系统INS 1200进行导航实验,采集实时数据,利用DR算法以及坐标转换算法对实验数据进行处理,通过MATLAB软件模拟了经过坐标变换后的定位图。仿真结果表明,DR算法在短时间内有较高的导航精度,对短时间导航有较大意义。

关键词: 航位推算法;坐标转换;GPS/INS紧密组合导航系统;微机电系统

中图分类号: TN967.2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.35

Research on simulation of dead reckoning in navigation and location

Zhang Haomin Guan Xueyuan

(Nanjing University of Science and Technology, National Key of Transient Physics, Nanjing 210094, China)

Abstract: The dead reckoning was originally used for ship positioning in sailing, the cost of the used accelerometer, magnetic compass and gyroscope is high and those size is big. With the development of MEMS technology, the size, weight and cost of accelerometer, digital compass and gyroscope are greatly reduced. So it can be applied in pedestrian navigation. According to the principle of the dead reckoning, GPS/INS tightly integrated navigation system INS 1200 can be used to conduct navigation experiment, collect real-time data. Experimental data is solved according to the dead reckoning and coordinate transformation algorithm. The positioning maps after coordinate transformation are simulated by MATLAB. The simulation result shows that the dead reckoning owns higher navigation accuracy in short time. There is greater significance for navigation in short time.

Keywords: dead reckoning; coordinate transformation; GPS/INS tightly integrated navigation system; MEMS

1 引言

城市中对车辆进行定位、导航时,由于过山隧道、城市高架桥、高楼大厦等原因,天空的可见视野会被阻挡或是由于GPS卫星信号被城中大型建筑物反射,产生多径效应,造成信号的衰落和相移,结果使得车辆无法获得准确定位信息;在山区、丛林地带也存在同样问题。为了解决这个问题,在车辆上加装车辆角度的变化和速度变化的测量装置,通过航位推算法来自主确定车辆的位置;同时根据卫星信号良好接收时的定位数据、电子地图及位置固定的信标机信号来校准车辆位置和运动方向,来消除航位推算法累计误差,这就是组合定位技术;组合定位技术的应用能在复杂的环境中提供连续、准确、有效的定位数据。

目前,对于陆用车辆定位来说,较常用的定位方式有利用全球定位系统(global position system,GPS)和航位推算

(dead reckoning,DR)两种。GPS定位能实现全球全天候连续的导航定位服务、具有定位精度高、观察时间短和仪器操作简便等特点,通过GPS接收机接收并解算GPS信号,用户就可以轻松地获取车辆的速度、位置等信息。但当GPS信号被市区高楼大厦、过山隧道等特殊区域遮挡时,会造成其信号质量下降,甚至中断,造成导航定位误差增大和导航中断,单纯靠GPS来定位已经不能满足用户的需求^[1-3]。航位推算法是一种完全自主式的定位方法,其原理主要是利用航向传感器和距离传感器实时检测车辆的航向角和位移,从而推算出车辆的位置信息,具有短时间定位精度高、自主性强等特点^[4]。

2 GPS/INS紧密组合系统

本文采用GPS/INS紧密组合系统INS 1200作为数据采集装置。INS 1200小型化MEMS紧密组合导航系统采用

紧耦合技术将高精度、低功耗、16 通道、单频 GPS 接收机输出的原始载波相位及伪距和高精度 MEMS 惯性测量单元紧密组合,具有体积小、重量轻、性能优、价格相对低廉等特点。

INS 1200 紧密组合导航系统可提供水平姿态、航向等定姿信息,经度、纬度、高度等定位信息,以及三维加速度、角速度等惯性测量信息;并可通过扩展里程计、高度气压计等进一步提高系统精度和适用性,可广泛应用于无人机、交通工具导航、航空和平台稳定控制等领域。

对于 INS 1200 紧密组合导航系统,在 GPS 有效地情况下,航向角精度可达 $0.3(^{\circ})(1\delta)$,水平姿态(横滚角和俯仰角)精度为 $0.2(^{\circ})(1\delta)$,速度精度为 $0.1\text{ m/s}(1\delta)$,陀螺和加速度的量程分别为 $\pm 400(^{\circ})/\text{s}$, $\pm 10\text{ g}$,而且可根据实际测试要求进行定制。

3 航位推算原理

航位推算定位(DR)系统是一种常用的自主式车辆定位系统,我国目前的 DR 车载系统大多采用压电或 MEMS 微型化陀螺和里程计构成。在建立准确的 DR 系统模型的基础上,应用最优估计方法消除陀螺仪随机漂移误差,是减小 DR 系统推算误差积累的有效方法^[5]。

航位推算法的主要原理是利用速度和航向来推算载体位置^[6],其中载体的航行速度乘以航行所经过的时间就是载体的航行距离,从一个已知的前一时刻(或当前时刻)的坐标位置开始,根据航行体在该时刻所在点的航向、速度和对应的航行时间,推算当前时刻(或下一时刻)航行体的坐标位置^[7]。

现将小车的运动看成平面二维运动,忽略高度上的变化。如图 1 所示就是小车从 (x_0, y_0) 到 (x_3, y_3) 的运动状态变化情况:

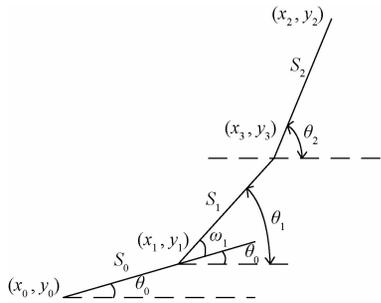


图 1 航位推算法示意图

已知小车的初始位置和它的方向角,根据小车的移动距离及角度变化,就可以推算出下一点的位置,车辆在 t_k 时刻的位置可表示为:

$$\begin{cases} x_k = x_0 + \sum_{i=0}^{k-1} s_i \cos\theta_i \\ y_k = y_0 + \sum_{i=0}^{k-1} s_i \sin\theta_i \end{cases} \quad (1)$$

式中: (x_0, y_0) 是小车 t_0 时刻的初始位置; s_i, θ_i 分别是车

辆从 t_i 时刻的位置 (x_i, y_i) 到 t_{i+1} 时刻的位置 (x_{i+1}, y_{i+1}) 的位移矢量的长度和绝对航向。绝对航向定义为连续两个绝对航向之差,用 ω_i 表示。若给出 t_0, t_1, \dots, t_k 时刻的绝对航向测量值 ω_i , 则 t_k 时刻的车辆绝对航向 θ_k 可由式 $\theta_k = \sum_{i=0}^k \omega_i$ 算出。

4 坐标转化

GPS/INS 紧密组合导航系统采集到的是大地坐标系下的经度、纬度等信息,而在航位推算导航系统中进行航位推算时,我们使用数据信息是以东北天坐标系为参考坐标系的,所以在导航系统中需要进行不同坐标系下的参数转换,从而更方便地显示载体的位置与导航轨迹。

4.1 坐标系定义

4.1.1 大地坐标系

大地基准面是利用特定椭球体对特定地区地球表面的逼近,因此每个国家或地区均有各自的大地基准面^[8],这就意味着测量所得到的经纬度等参数是以某种大地坐标系为基准的。随着卫星技术和遥测技术的快速发展,目前可利用卫星测量的方法取得全球性的大地测量数据,从而拟合出适合于全球性的全球大地坐标系,现在世界上应用最广泛的是 WGS-84 坐标系^[9]。

4.1.2 地球直角坐标系

在实际应用当中地球上的一点会随着地球时刻转动,如果用它来描述地球上的物体空间位置变化会带来很大的不变,因此为了方便描述地球物体空间位置变化,人们引入了地球直角坐标系 (X_1, Y_1, Z_1) , 如图 2 所示。在地球直角坐标系定义中,坐标系原点 O 位于地球中心, Z_1 轴为地球自转轴指向北极, X_1 轴与 Y_1 轴在赤道平面内,两者夹角为 90° , Y_1 轴指向东经 90° , X_1 轴指向参考子午面(通常是英国伦敦处的格林威治子午面)^[10]。该坐标系与地球固连,并且随地球以地球自转角速度旋转。

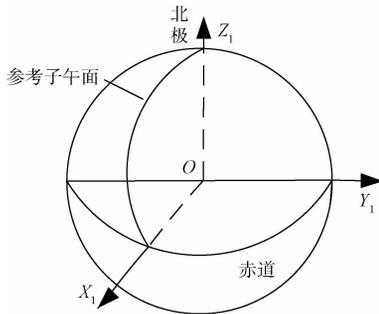


图 2 地球直角坐标系

4.1.3 东北天坐标系

东北天坐标系(如图 3)又称为地理坐标系,通常以用户所在的位置点为坐标原点,3 个坐标轴 N, E, D 是相互垂直并且符合右手定则。 N 轴沿子午线指向北向, E 轴指向

东向, D 轴垂直于 N 轴和 E 轴所确定的平面指向天向。

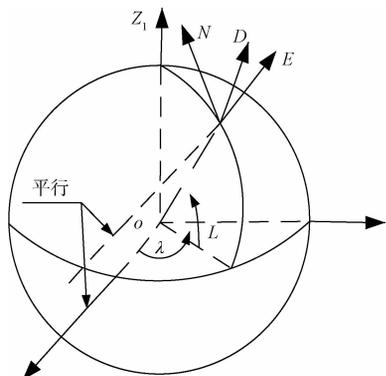


图3 东北天坐标系

4.2 大地坐标系与地球直角坐标系相互转换

设 P 点在地球直角坐标系内的坐标为 (x, y, z) , 在大地坐标系内的坐标为 (λ, L, h) , 如图4所示。有大地坐标系至直角坐标系的转换:

$$\begin{cases} x = (R_N + h) \cos L \cos \lambda \\ y = (R_N + h) \cos L \sin \lambda \\ z = [R_N (1 - e)^2 + h] \sin L \end{cases} \quad (2)$$

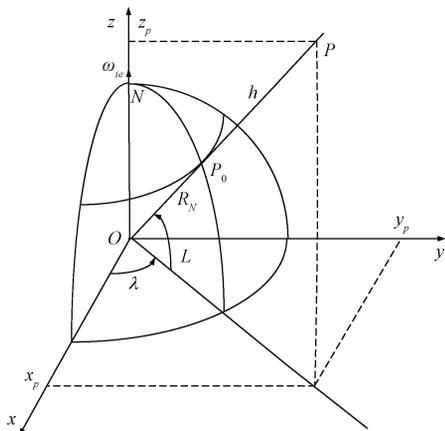


图4 大地坐标系与地球直角坐标系

其中 R_N 为基准椭球体的卯西圆曲率半径, e 为椭圆偏心率, 它们与基准椭球体的长半径 a 和短半径 b 存在如下的关系:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (3)$$

$$R_N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 L}} \quad (4)$$

4.3 东北天坐标系与地球直角坐标系相互转换

在地球直角坐标系中的一点的坐标, 可通过坐标的平移和旋转变成东北天坐标系坐标, 但是这种点的坐标变换意义不是很大。如果一个在地球直角坐标系中的向量一点 P 为起点, 那么将该向量表达成再以点 P 为原点的东北天

坐标系中却十分的重要。例如用户在一个水平面运动, 则它的东北天坐标系中的天向分量将保持不变, 但这种水平位移对于地球直角坐标系来说, 通常不具有特殊意义。

东北天坐标系的另一个应用在于计算卫星在用户处的观测矢量和仰角。设用户在地球直角坐标系中 P 点坐标为 (x, y, z) , 某卫星点的坐标为 (x^s, y^s, z^s) , 则从用户到卫星的观测向量为:

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^s \\ y^s \\ z^s \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (5)$$

观测向量 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$ 可以等效的表达为, 以 P 点位原点的东北天坐标系下的向量, $(\Delta e, \Delta n, \Delta u)$ 其变换关系为

$$\begin{pmatrix} \Delta e \\ \Delta n \\ \Delta u \end{pmatrix} = S \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中, 变换矩阵 S 为

$$S = \begin{pmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin L \cos \lambda & -\sin L \sin \lambda & \cos L \\ \cos L \cos \lambda & \cos L \sin \lambda & \sin L \end{pmatrix} \quad (7)$$

5 实验仿真

为了实现航位推算法在车辆导航中的应用, 将 GPS/INS 紧密组合系统 INS 1200 与电脑正确连接, 平稳放在手推车上, 模拟车辆环境, 在手推车运动时采集 INS 和 GPS 数据。同时, 打开手机中的 GPS 导航软件, 也放在小车上, 通过手机软件获得实际路径图。然后推行手推车在校园内绕行一段距离, 最后返回原处。图5为手机上获得的实际路径图。



图5 实际路径

将采集的数据导入 MATLAB 中,用航位推算法解算组合系统中 INS 数据,与 GPS 数据做对比,得到位移对比如图 6~8 所示。

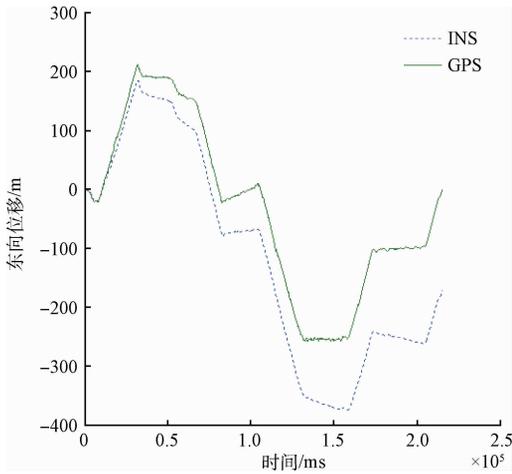


图 6 东向位移对比

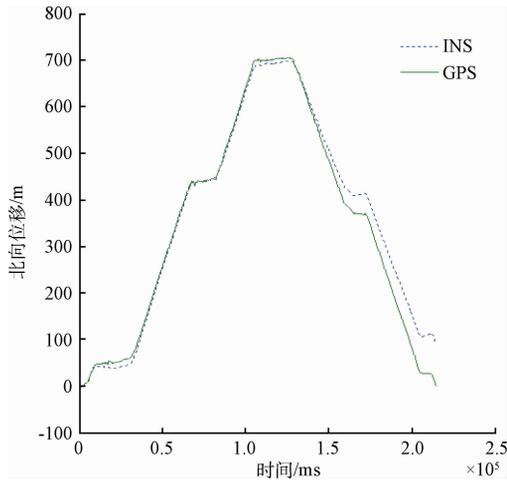


图 7 北向位移对比

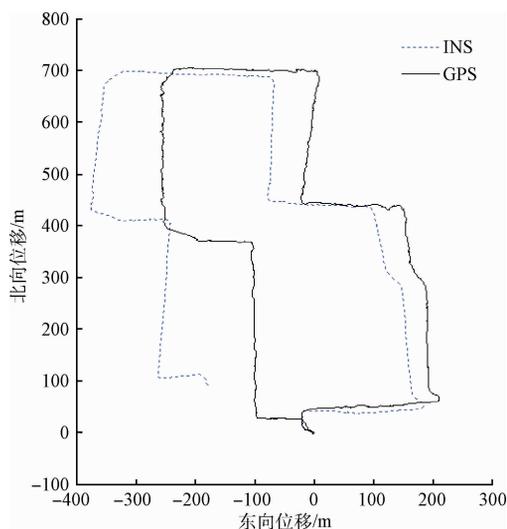


图 8 整体位移对比

从结果对比图可以看出,虽然单个航位推算导航系统能够在短时间内获得一定的估计精度,但其总体趋势是发散的,尤其是东向位移发散程度较大。所以,航位推算法虽然可用于车载导航,但单一的 DR 导航系统并不能满足实际需求。

6 结 论

本文利用 GPS/INS 紧密组合系统 INS 1200 置于手推车上模拟车载环境,利用 MATLAB 软件将采集的 INS 数据与 GPS 数据进行处理,并进行坐标转换,模拟航位推算导航的过程,分别画出了手推车在东向和北向的位移对比图,而且对全程路径也做了对比。从结果看出单一的航位推算导航系统会导致结果发散,原因是航位推算实质上是一个信息累加的过程,不同时刻的测量误差和计算误差会积累起来。随着时间的推移,航位推算导航系统的误差是一个发散的过程。所以说航位推算系统可以实现短时间的导航,可一旦需要长时间工作,即使仪器的测量误差很小,随着时间的推移,很小的误差也会被放大,从而影响定位精度。

参考文献

- [1] NIU X, NASSER S, GOODALL C, et al. A universal approach for processing any MEMS inertial sensor configuration for land-vehicle navigation [J]. The Journal of Navigation, 2007(60): 233-245.
- [2] CHO S Y, CHOI W S. Performance enhancement of low-cost land navigation system for location-based service[J]. ETRI Journal, 2006, 28(2): 131-144.
- [3] 李鑫,徐勇,邓涛. 电子地图匹配算法在 GPS 和 DR 组合车载导航系统中的作用[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(5): 9-12.
- [4] 张士钰,孙永荣,陈武,等. 低成本 MEMS 加速度计在组合车辆导航中的应用研究[J]. 电子测量技术, 2009, 32(11): 51-54.
- [5] 黄攀. 基于 GPS/DR 紧组合车载导航系统研究及实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [6] 孙铭,周琪,崔潇,等. 捷联惯导/航位推算组合导航算法[J]. 电子设计工程, 2013, 21(15): 11-14.
- [7] 郭庆峰. 车载 GPS/BD-DR 组合导航系统设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [8] 金郁萍. 常用大地坐标系相互转换的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.
- [9] 金耀,陈桂红,方怡. 基于 MATLAB 的 WGS84 坐标到地方坐标的准换[J]. 地理信息世界, 2016, 23(4): 101-105.
- [10] 姜楠. 坐标转换算法研究与软件实现[D]. 芜湖: 安徽理工大学, 2013.

作者简介

张浩旻, 1992 年出生, 现为南京理工大学硕士研究生, 目前主要从事组合导航研究。

E-mail: 478607448@qq.com