

doi: 10.7690/bgzdh.2018.01.003

一种基于低精度光纤陀螺的组合导航系统

黄雪妮, 李 泱

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 针对实际工程要求, 设计适用于低精度光纤陀螺的组合导航系统的试飞方法。构建一种基于低精度光纤陀螺的组合导航系统, 包括磁传感器、多普勒雷达和卫星导航子系统, 设计 Kalman 滤波器, 给出其状态方程和量测方程, 并进行飞行试验。试验结果表明: 该组合导航系统满足中等精度导航需求, 设计成本较低, 算法科学可行, 具有较强的实用性, 可广泛应用于各种民用航空导航领域。

关键词: 光纤陀螺; 磁传感器; 多普勒雷达; 卫星导航; 飞行试验

中图分类号: TJ760.6⁺2 **文献标志码:** A

Integrated Navigation System Based on Low Precision Fiber Optic Gyroscope

Huang Xueni, Li Yang

(China Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: Aiming at the practical engineering requirement, design the flight test method for integrated navigation system based on low precision fiber optic gyroscope. Establish integrated navigation system based on low precision fiber optic gyroscope, including magnetic sensor, Doppler radar, and satellite navigation subsystem, design Kalman filter. Put forward the status equation and measurement equation, and carry out flight test. The test results show that the integrated navigation system can satisfy medium precision navigation requirements, with low design cost, and the system algorithm is scientific and feasible. The system is practical and can be widely used in civil aviation navigation field.

Keywords: fiber optic gyroscope; magnetic sensor; Doppler radar; satellite navigation; flight test

0 引言

与其他陀螺相比, 光纤陀螺具有无运动部件、仪器牢固稳定、耐冲击抗加速度运动, 寿命长、信号稳定可靠, 结构简单零部件少, 启动时间短, 检测灵敏度和分辨率高, 动态范围极宽等优点, 颇受许多用户特别是军方的青睐。目前, 国内光纤陀螺的研制水平已接近惯性导航系统的中、低精度要求。其中, 航天 33 所、航天十院、北京航空航天大学研制的光纤陀螺零偏稳定性已达 $0.1 \sim 1 (^{\circ})/h$ 。根据北航某预研项目验收指标看, 其研制的 PM-IFOG (保偏干涉式光纤陀螺) 测试精度优于 $1.0 (^{\circ})/h$, 消偏 FOG 检测精度约 $2 (^{\circ})/h$, 可望向实用化发展^[1-2]。

笔者构建了以低精度光纤陀螺、磁传感器、多普勒雷达和卫星导航构成的组合导航系统。通过磁传感器给定初始真航向, 导航过程中利用航迹角时刻修正真航向误差, 利用多普勒雷达和卫星导航的速度修正组合导航系统的速度。通过试飞试验验证了该组合导航系统工作稳定, 系统能有效抑制惯导误差随时间积累而发散的趋势, 满足实际导航要求。

1 组合导航系统构成

基于低精度光纤陀螺的组合导航系统 (hybire navigation system, HNS) 组成如图 1 所示。系统主要包括光纤惯性导航系统 (fiber inertial navigation system, FINS)、卫星导航系统和多普勒雷达 (Doppler radar, DVS), 利用卡尔曼滤波器将以上 3 个系统的信息进行融合, 从而得到高精度的导航参数。由于低精度的惯导完成自对准后真航向精度较差, 为此引入磁传感器感测的磁航向角, 减去对准点的磁差后即可得到较高精度的真航向, 将其作为初始真航向, 可提高精度。

考虑到该组合导航系统的构成子系统较多, 以及各子系统的工作可靠性, 通过软件算法设计使该组合导航系统具有多种工作状态, 分别是惯性/卫星/多普勒组合、惯性/卫星、惯性/多普勒、纯惯性导航状态以及备份航姿等工作状态。图 2 为整个系统的软件基本流程。若系统进入纯惯性导航状态后, 由于陀螺精度较低, 工作一定时间后给出的导航参数误差过大; 因此, 纯惯性工作 30 min 后, 通过软件屏蔽位置和速度信息, 只将姿态和航向参数

收稿日期: 2017-10-19; 修回日期: 2017-11-22

基金项目: 国家自然科学基金 (61203189, 61374054)

作者简介: 黄雪妮 (1986-), 女, 陕西人, 硕士, 工程师, 从事航空电子设备飞行试验研究。

装误差并将其在软件中补偿；

2) 在试验机上加装差分 GPS 系统，其天线安装在试验机尾梁处，避免旋翼遮挡；加装数据采集记录器；

3) 抽引试验机激光惯导 429 总线输出口至数据采集记录器；

4) 通过 B 码发生器使整个系统时间同步，整个过程实时记录试验机激光惯导数据、GPS 数据和组合导航系统数据。

3.2 试飞方法

为了验证使用航迹角来修正真航向的正确性，笔者结合试验机的特点，在试飞中专门设计了稳定平飞、加减速飞行、∞字盘旋、左右侧飞、悬停等

试飞动作。图 3 为整个试飞航迹。

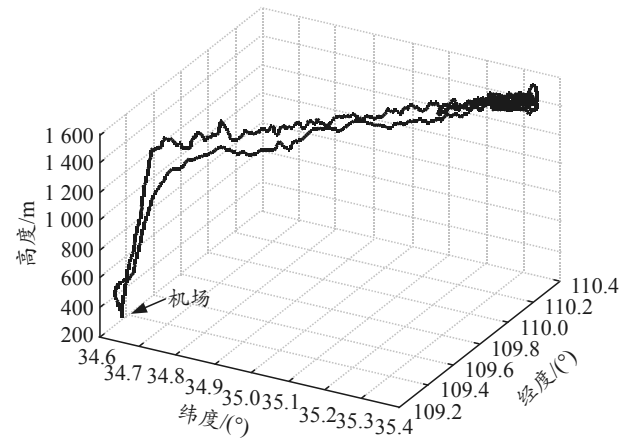
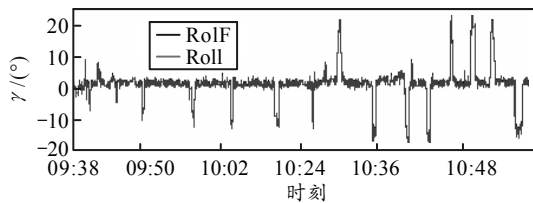
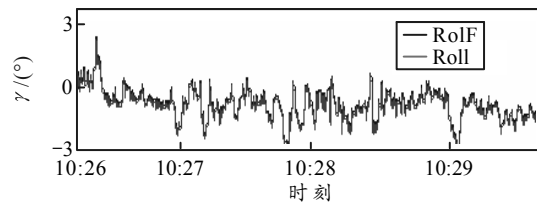


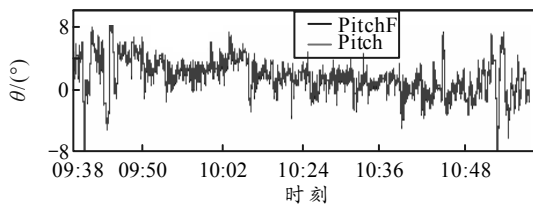
图 3 飞行轨迹



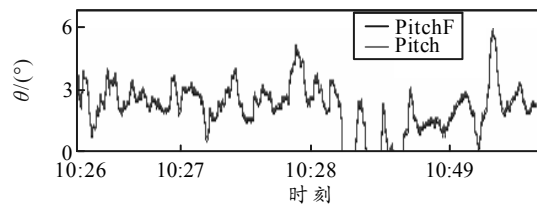
(a) 横滚角全程输出对比图



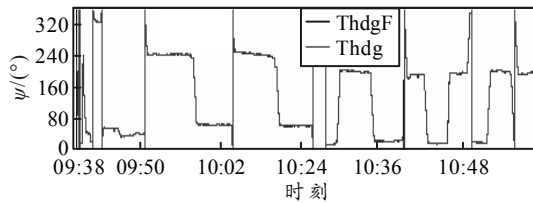
(b) 横滚角局部放大图



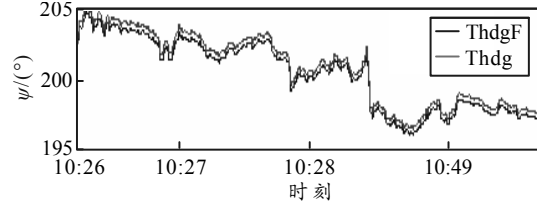
(c) 俯仰角全程输出对比图



(d) 俯仰角局部放大图

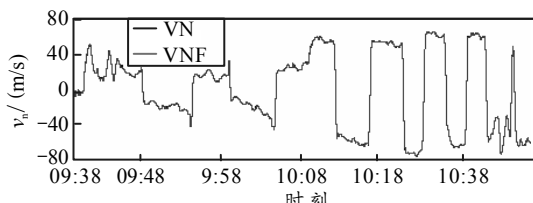


(e) 真航向角全程输出对比图

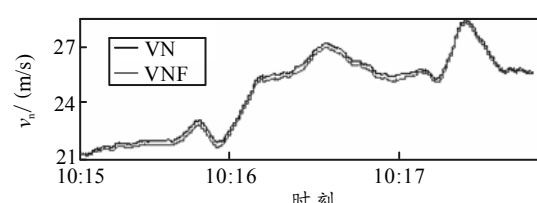


(f) 真航向角局部放大图

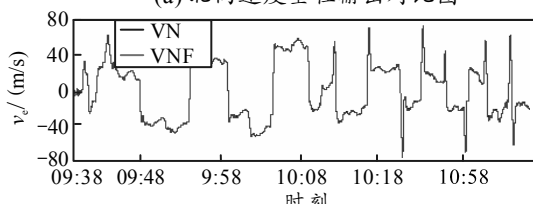
图 4 姿态、航向输出对比曲线及局部放大图



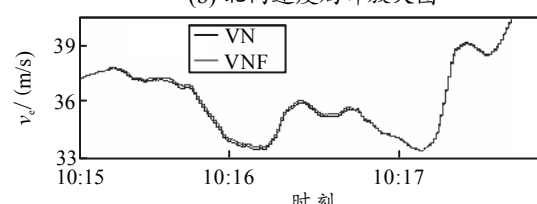
(a) 北向速度全程输出对比图



(b) 北向速度局部放大图



(c) 东向速度全程输出对比图



(d) 东向速度局部放大图

图 5 速度对比曲线及局部放大图

3.3 试飞结果与分析

试验载机激光惯导系统(LINS)精度优于加装组合导航系统的多倍以上,因此采用其输出航向、姿态作为基准来评价组合导航系统的航向姿态精度。以加装GPS输出的位置和速度为基准来评价组合导航系统的位置速度精度。

图4(a)~(c)分别为整个架次试飞过程中载机激光惯导与组合导航系统输出的横滚角、俯仰角和真航向对比曲线。由图可见:组合导航系统与载机激光惯导输出的姿态航向变化趋势一致,曲线吻合。图5(a)、(b)分别为组合导航系统输出速度与差分GPS速度对比曲线,图中东北向速度与差分GPS速度吻合较好。图4(d)~(f)和图5(c)、(d)分别为姿态航向和东北向速度的局部放大图,从姿态航向以及速度的放大图中可见组合导航系统的误差在规定的范围内,精度满足导航要求。

由此可见:笔者设计的通过磁传感器给定初始真航向,整个导航过程利用航迹角来修正真航向达到了一定效果。对组合导航系统的位置、速度、姿态航向误差按照RMS进行统计,结果满足中等精度导航需求(注:由于保密方面考虑具体试飞结果不便于公布)。

4 结论

笔者主要探讨了利用多普勒雷达和卫星的信息辅助低精度光纤惯导,所构建的组合导航系统可靠性和自主性高。通过对飞行试验结果的分析,证明了利用多普勒雷达、卫星、和光纤惯导构成的组合导航系统方案是可行的,导航系统满足中等精度导航需求。这种基于低精度光纤陀螺的组合导航系统设计成本较低,系统算法科学可行,可广泛应用于各种民用航空导航领域。

参考文献:

- [1] 毛献辉,田芊,滕云鹤,等.几种光学陀螺的研究进展[J].压电与声光,2003,25(1):15-19.
- [2] 陈塞崎,袁冬莉,闫建国,等.光纤陀螺综述[J].光纤电缆及其应用技术,2005,40(6):4-7.
- [3] 白宏阳,薛晓中,郑玲,等.光纤惯导/多普勒雷达/气压高度表组合导航半实物仿真[J].中国惯性技术学报,2009,17(2):201-204.
- [4] 贺广松,李新洪,王谦,等.基于Matlab/Simulink的无人飞行器导航精度分析[J].兵工自动化,2017,36(9):8-11.
- [5] 刘伟,曾培香,管伟涛,等.微小型惯性/光学/磁罗盘/气压高度组合导航系统研究[J].遥测遥控,2013,34(5):21-25.
- [6] 黄雪妮,赵忠,杨丽兰.游移方位捷联惯导系统传递对准方法[J].兵工自动化,2011,30(5):36-38.
- [7] 秦永元.惯性导航[Z].北京:科学出版社,2006.