引文格式:吴有龙.巡飞弹组合导航系统误差补偿及可靠性研究[J].测绘学报,2018,47(9):1294. DOI:10.11947/j.AGCS.2018.20170543.
WU Youlong.Error Compensation and Reliability Analysis for Loitering Munition Integrated Navigation System[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2018,47(9):1294. DOI:10.11947/j.AGCS.2018.20170543.

巡飞弹组合导航系统误差补偿及可靠性研究

吴有龙[1,2]

1. 金陵科技学院智能科学与控制工程学院,江苏 南京 211169; 2. 南京理工大学机械工程学院,江苏 南京 210094

Error Compensation and Reliability Analysis for Loitering Munition Integrated Navigation System

WU Youlong[1,2]

1. College of Intelligent Science and Control Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China;
2. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

巡飞弹是先进导弹技术和无人机技术等相结合的产物,能够快速抵达目标区域,执行集巡逻飞行,侦察监视等多功能于一体,是满足未来信息化作战需求的智能化弹药。由于巡飞弹需要长时间在恶劣环境下工作的特点,改善弹载导航系统的定位精度和可靠性对提高巡飞弹的系统性能非常关键。为此,本文研究了低成本弹载组合导航系统中的故障处理问题,对惯性传感器的随机误差进行分析和补偿,并探讨了高精度的导航定位算法。主要工作包括:

(1) 研究了多卫星导航系统的自主完好性监测理论。基于仿真数据,综合分析了北斗系统中不同类别卫星(GEO/IGSO/MEO)的可靠性和可区分性以及与其他导航系统的组合性能。结果表明,相较于 MEO 和 IGSO 卫星而言,GEO 卫星的最小可探测粗差较大,这是因为后者的观测精度低;对多卫星组合导航系统而言,卫星星座的几何结构和冗余度得到了显著增强,从而提高了导航系统的可靠性,并增强了系统对故障的可区分能力。

(2) 探讨了卫星导航和惯性导航组合系统的可靠性理论,分析了不同卫星导航系统和惯导系统的不同精度对组合系统可靠性的影响。不同于单一卫星导航系统,组合导航系统中,各卫星的最小可探测粗差不仅受卫星高度角、冗余观测量以及卫星几何分布影响,很大程度上也依赖于具体采用的卡尔曼滤波模型。当卡尔曼滤波的解算精度随导航时间收敛后,各卫星的最小可探测粗差也相应地趋于稳定。此外,卫星导航系统与不同精度的惯导系统组合时,高精度的惯导系统有助于降低观测量的最小可探测粗差,但降低的幅度并不与惯导系统的精度成正比。

(3) 提出了惯性传感器中有色噪声的建模与补偿方法。为了提高惯性导航系统的精度,需要对惯性传感器误差进行估计与精确建模。本文从理论上分析了零偏不稳定性过程,证明了零偏不稳定过程可以等效于多个一阶马尔可夫过程,并结合角随机游走和速率随机游走噪声对传感器进行建模,通过卡尔曼滤波增强矩阵对传感器进行补偿,最后试验验证了此方法的可行性。

(4) 提出了基于相关性分析的组合导航的故障检测和隔离方法。当卫星的几何分布较差时,会造成观测模型残差之间的高相关性,由此导致故障检测中的误判行为。本文从理论上分析了由相关性引起的误判行为对导航定位的影响,提出了一种基于标准化残差相关性分析的故障检测与隔离的算法。当卫星几何结构良好时,可以保证故障检测的正确性,因而可以直接剔除检测到的含故障的观测值。而当观测值对应的残差间出现强相关性时,采用自适应降权的方法对可能存在故障的观测值进行处理。试验结果表明,该方法可以有效控制异常观测值对定位结果的影响。

(5) 设计了可用于巡飞弹导航系统的基于载波相位时间差分高精度组合导航定位和测速方法。本文针对巡飞弹的具体应用设计了利用载波相位时间差分的导航算法,避免求解模糊度,大大减小了系统运算复杂度。组合导航试验结果表明,利用载波相位时间差分可以获得毫米/秒量级的速度信息以及米级精度的位置解算结果。

中图分类号:P228 **文献标识码**:D

文章编号:1001-1595(2018)09-1294-01

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(30916014101);金陵科技学院博士启动金(jit-b-201603)

收稿日期:2017-09-26

作者简介:吴有龙(1987—),男,2014 年 12 月毕业于南京理工大学,获工学博士学位(指导教师:王晓鸣教授、WANG Jinling 教授),研究方向为卫星导航及组合导航。

Author: WU Youlong (1987—), male, received his doctoral degree from Nanjing University of Science and Technology on December 2014, majors in satellite navigation and integrated navigation.

E-mail: youlong.wu@hotmail.com