

文章编号:1001-1595(2011)03-0401-01

## GNSS/INS 组合导航误差补偿与自适应滤波理论的拓展

吴富梅<sup>1,2</sup>

1. 信息工程大学 测绘学院,河南 郑州 450052; 2. 西安测绘研究所,陕西 西安 710054

### Error Compensation and Extension of Adaptive Filtering Theory in GNSS/INS Integrated Navigation

WU Fumei<sup>1,2</sup>

1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 450052, China; 2. Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 710054, China

对 GNSS/INS 组合导航误差补偿与自适应滤波理论进行了系统而深入的研究。针对 GNSS/INS 组合导航实际应用中存在的随机模型不精确、GNSS 观测条件不佳、INS 误差累积迅速等问题,引入 Allan 方差、ARMA 模型、载波相位平滑伪距、伪距差分求解速度、自适应滤波、误差模型修正等算法,对其进行改进并进一步提高了导航精度和可靠性。论文的主要工作和创新点概括如下:

(1) 对 INS 随机误差进行了系统的分析和处理;分析和比较了陀螺信号中几种性质不同的随机误差在功率谱密度和 Allan 方差上不同的特性和表现形式;对三种陀螺实测信号中的随机误差进行了分析,给出这些陀螺信号中存在的主要噪声类型及其相应的系数;通过对分解后高频系数进行检验,给出了一种自动判别小波多分辨率尺度的方法;建立了三种陀螺随机误差的 ARMA 模型,确定了相应的 ARMA 模型阶数和模型参数。

(2) 在 INS 力学编排基础上从误差分析角度提出一种基于累积误差极小值的精对准方法,有效缩短了初始对准时间;实测算例表明这种方法不受初始对准时间的约束,在较短时间内可以获得较高的航向角对准精度。

(3) 给出了三种确定 INS 白噪声谱密度的方法:直接估计法、基于小波变换的谱密度估计法和 Allan 方差法。利用实测数据对这三种方法进行了比较和分析。

(4) 分别基于 AR 模型和基于 ARMA 模型,推导了 GNSS/INS 组合导航动力学模型方程和随机误差模型。实测算例表明,基于 AR 模型和 ARMA 模型的 Kalman 滤波精度均高于根据经验设定参数的标准 Kalman 滤波。

(5) 提出伪距差分求解速度的方法,给出了相邻历元和历元间伪距差分测速的公式,并且对其精度进行了分析。利用实测算例对伪距差分测速的精度进行了比较和分析,在外界环境恶劣的情况下伪距差分可以保证较高的可靠性。

(6) 针对紧组合导航中观测个数少、观测值存在粗差的问题,提出通过部分状态不符值来构造自适应因子的方法,给出部分状态不符值构造自适应因子的过程,并与单因子自适应滤波和分类因子自适应滤波进行了分析和比较。实测算例结果表明,当观测存在异常时,由预测残

差构造的自适应因子不能分辨模型误差和观测误差,而由部分状态不符值构造的自适应因子能够抵制观测异常的影响,滤波结果优于由预测残差构造的自适应因子滤波结果。

(7) 针对伪距、伪距率紧组合导航精度低、姿态角误差修正误差较大的缺点,从参数可观测性角度提出一种两步自适应 Kalman 滤波算法,推导了两步自适应抗差滤波的公式和具体步骤,并且进行了分析和比较。实测算例结果表明,相比于标准 Kalman 滤波,两步自适应抗差滤波的导航精度受组合周期的长短、INS 惯性元件误差的大小影响较小,并且能够控制动态扰动异常和观测异常的影响。

(8) 针对由 GNSS 观测条件不佳或观测不足引起的误差,在一般自适应滤波的基础之上,对其进行扩展,自适应地调节状态预测向量的协方差阵,使其既能控制动态模型误差又能抑制由 GNSS 观测条件不佳引起的误差影响。实际算例验证,扩展自适应滤波能够很好地控制这两种误差的影响。

(9) 在 GNSS 信号失锁时,提出一种速度先验信息和 Odometer 观测信息辅助车载 INS 导航的方法,并且对位置修正法进行了改进。实测计算结果表明,新算法可以大幅度提高载体位置和速度精度。

中图分类号:P228

文献标识码:D

基金项目:国家自然科学基金(40774001;41020144004;41004013);卫星导航与定位教育部重点实验室(B类)开放基金(CRC-2009003);信息工程大学博士生创新基金

收稿日期:2010-11-25

作者简介:吴富梅(1981—),2010年6月获信息工程大学测绘学院大地测量学与测量工程专业博士学位(指导教师:杨元喜院士),研究方向为动态大地测量数据处理。

Author: WU Fumei (1981—), PhD in geodesy and surveying engineering, Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, majors in kinematic geodetic data processing.

E-mail: wfm8431812@163.com