

doi: 10.7690/bgzdh.2014.08.026

测量船中心机箭载导航定位数据仿真软件

饶爱水, 王振平, 张龙, 胡健, 李清梅

(中国卫星海上测控部飞行器海上测量与控制联合实验室, 江苏 江阴 214431)

摘要: 针对测量船中心机无法有效检验验证 GPS/GNSS 遥测软件的问题, 设计一种测量船中心机箭载导航定位数据仿真软件。通过对软件的任务和功能需求分析, 在总结测量船现有联调演练方式的基础上, 提出了仿真软件的建设目标、部署方式、运行模式以及软件总体架构, 并对 3 个关键技术进行分析。分析结果表明: 该软件避免了过去只能在航天器运行时才能检验、验证相应软件是否有缺陷的状况, 有利于验证系统软件设计, 降低运行成本, 也便于后续任务加装新型号接收机的系统联试和测试。

关键词: 导航定位; 测试验证; GPS; GNSS

中图分类号: TJ760.3 **文献标志码:** A

Onboard Navigation and Position Data Simulation Software of Center Computer System in Space Tracking Ship

Rao Aishui, Wang Zhenping, Zhang Long, Hu Jian, Li Qingmei

(Joint Laboratory of Ocean-based Flight Vehicle Measurement & Control, Satellite Maritime Tracking & Controlling Department of China, Jiangyin 214431, China)

Abstract: In order to overcome the problem that the center computer system can't test and verify the GPS/GNSS telemetry software effectively, the onboard navigation and position data simulation software of center computer system in space tracking ship has been developed. Though the analysis of the task and functional requirement of this software, and based on the mode of integrated testing and drilling in existence, the design goal, deployment type, operation mode and software architecture are put forward. The result shows that this software basically overcomes the disadvantage that the test can only be carried out when the space vehicle was moving. This has utilized in system software design, lower running cost and easy to system integrated commission and test for the follow-through tasks with new type receiver fitted on.

Keywords: navigation and position; test and verify; GPS; GNSS

0 引言

导航定位系统可用于实时测定航天器的位置和速度, 也可经事后处理得到精确的弹道数据, 是弹道测量的一种新技术。箭载 GPS/GLONASS 接收机可获得的基本测量数据有伪距测量数据和载波相位测量数据, 火箭(或导弹)可通过其计算机直接计算自身瞬间位置与速度, 其测量结果通过遥测通道下传至地面, 由调频遥测设备接收^[1]。测量船中心机 GPS/GNSS 遥测软件从调频遥测数据中挑出 GPS/GNSS 原始数据, 利用箭上下传的伪距帧和电文帧、结合测量船卫导 GPS 接收机的导航电文, 实时确定火箭(或导弹)的位置和速度^[2]。

GPS/GNSS 遥测软件一直以来只能通过模飞数据和以往实战数据进行检验测试, 当火箭(或导弹)加装新型号接收机时, GPS/GNSS 遥测软件增加新型号接收机处理模块时, 该代码只能通过模飞数据进行部分测试, 无法采用以往的任务实战数据对软件进行充分检验、验证, 使得实战成为验证软件的

终极手段, 风险很大。为此, 笔者开发了一套“测量船中心机箭载导航定位数据仿真软件”。

1 软件需求

1.1 任务需求分析

1) 检验验证 GPS/GNSS 遥测软件。历次任务以来, 由于缺乏验证手段, 暴露出 GPS/GNSS 遥测软件的部分缺陷, 原因在于通过回放历史数据和回放模飞数据^[3], 验证方法单一, 人工无法对回放的数据进行干预(如修改弹道时标、边界值异常值设置等); 尤其是火箭加装新型号接收机时, 在软件代码进行大量更动的同时, 又缺乏验证手段(只能依靠模飞数据检验), 给任务执行带来严重隐患。

2) 减少联调模式与实战模式的差异。测量船在进行理论弹道数据检查时, GPS/GNSS 遥测软件并不运行, 通讯出 GPS/GNSS 测量数据为中心机仿真软件仿真的理论弹道数据, 无法检验 GPS/GNSS 遥测软件的正确性。实战模式下, 基带向中心机发送调频遥测数据, GPS/GNSS 遥测软件从调频遥测数

收稿日期: 2014-02-25; 修回日期: 2014-03-17

作者简介: 饶爱水(1979—), 男, 江西人, 双学士, 工程师, 从事导航定位软件及海上测控软件开发应用。

据中挑出 GPS/GNSS 原始数据,处理出 GPS/GNSS 测量数据,然后发往测控中心^[4]。

1.2 功能需求分析

结合地面测控系统间联调演练、测量船软件测试、未来导航定位需求及人才培养等各方面需求,导航定位数据仿真软件的功能需求可概括为:

1) 具备仿真各种型号火箭箭载 GPS/GNSS 原始数据的功能。对未来新型号箭载接收机具备扩展功能,可按照规定接口增加对后续型号不同箭载 GPS/GNSS 接收机数据格式的支持。

2) 实现与测量船中心机现有软件系统完美集成。箭载 GPS/GNSS 数据的仿真,不影响已有火箭遥测数据仿真功能,GPS/GNSS 测量数据的仿真时间与测量船中心机仿真软件一致,与当前时统时间一致,满足时统跳时要求;导航定位数据仿真软件异常,不影响测量船中心机仿真软件的正常运行。

3) 具备检验测试地面 GPS/GNSS 遥测软件的功能。具备一定箭载 GPS/GNSS 故障仿真能力,包括卫星星历数据异常、伪距帧数据异常、定位帧数据异常、校验码异常等;仿真的数据可有效检验验证 GPS/GNSS 遥测软件的定位精度,即实战软件解算出的箭上定位结果与地面定位结果的空间距离偏差小于 50 m。

2 设计方案

2.1 软件部署方式

导航定位数据仿真软件运行于测量船中心机仿真服务器上,与测量船中心机仿真软件一起,组合成一个完整的火箭遥测全帧数据原码的仿真功能,检验验证中心机火箭遥测数据处理、GPS/GNSS 数据处理能力,如图 1 所示。

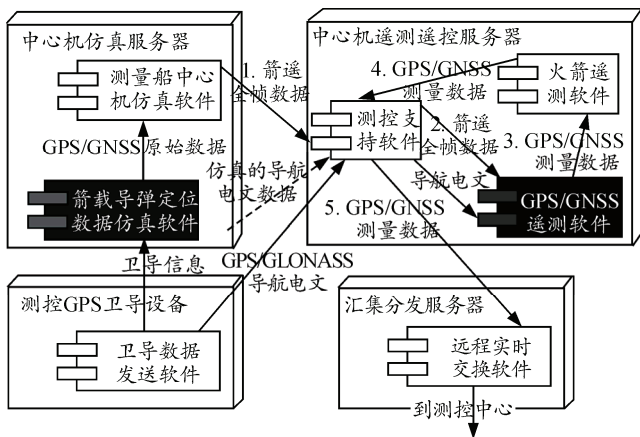


图 1 导航定位数据仿真软件部署

2.2 软件运行模式

导航定位数据仿真软件可运行于理论弹道检查和软件测试模式,前者用于联调演练,后者用于软件测试,其中导航电文仿真通过读取电文记录文件^[5]或实时接收测量船卫导设备发送的电文数据。

2.2.1 理论弹道检查模式

在各种阶段联调演练中,导航定位数据仿真软件运行于理论弹道检查模式,主要流程为:

1) 导航定位数据仿真软件实时接收卫导设备发送的卫导数据,从中获取导航电文;

2) 导航定位数据仿真软件根据火箭理论弹道数据,按照仿真模型,仿真伪距帧、定位帧和电文帧等关键信息;

3) 导航定位数据仿真软件根据当前箭载接收机类型,按规定格式填充到箭载 GPS/GNSS 原始数据中;

4) GPS/GNSS 遥测软件实时接收卫导设备发送的卫导数据,从中获取导航电文;

5) GPS/GNSS 遥测软件实时接收仿真服务器发送的火箭遥测数据,获取箭载 GPS/GNSS 原始数据;

6) GPS/GNSS 遥测软件解算地面定位数据和箭上自定位结果数据,向测控中心发送理论的 GPS/GNSS 测量数据。

2.2.2 软件测试模式

在软件测试模式下,导航定位数据仿真软件负责仿真卫导数据,GPS/GNSS 遥测软件从仿真服务器接收卫导数据(不从卫导设备接收)。用户可人工干预箭载 GPS/GNSS 原始数据的生成和卫导数据的关键信息。

1) 对导航电文的干预。如更改接收机收星个数,变更导航电文时间、星历数据龄期、星历数据的参考时刻、UTC 跳秒时间等。在 GPS/GLONASS 联合定位模式下,屏蔽 GPS 或 GLONASS 的电文数据。

2) 对伪距帧的干预。如修改伪距帧的通道状态、通道有效个数、卫星星号等。

3) 对定位帧的干预。如修改定位结果时间、位置和速度等。

4) 时统跳时功能。如根据当前时统时间,修改导航电文时标、伪距帧时标和定位帧时标,充分检查和验证过年、过月、过日情况。

2.3 软件总体框架设计

导航定位数据仿真软件拟采用软件构件化设计

思想，基于软件分层体系结构设计，软件总体设计图见图 2 所示。采用接口层、应用层、表示层三层体系结构，各层分工明确、各司其职，具有强内聚、松耦合的特点。接口层负责提供网络收发服务、时统中断服务、数据库操作服务等，应用层负责提供各种导航电文仿真、各种型号火箭箭载导航定位数据仿真服务，表示层负责提供数据显示服务、人机交互服务等。各层功能和特点描述如下。

定位数据仿真功能^[6]，使用面向对象数据抽象技术提取箭载导航定位数据仿真基类，使用类继承技术实现特定型号火箭的差异化处理，使用虚拟和多态技术为全局线程提供统一的外部调用操作。应用层主要由各型号火箭通用仿真构件、箭上自定位帧仿真构件、伪距帧仿真构件、GPS 全球导航定位系统仿真构件、GLONASS 系统仿真构件、船载卫导设备仿真构件组成，针对未来特定型号火箭数据的仿真，可增加相应的仿真构件。用户通过自动创建对应型号的数据仿真类，实现了火箭箭载导航定位数据仿真的通用化。

3) 表示层主要用于提供丰富的数据显示界面和操作对话框，实时显示数据处理的动态信息。用户可针对用户显示器分辨率的大小，使用界面动态调整技术，可自动调整界面元素的大小和显示位置，数据显示美观。用户可实时控制火箭箭载导航定位数据的仿真，直接在界面上修改仿真参数，实现各种正常、异常情况的仿真，人机交互直观。

3 关键技术

3.1 基于理论弹道的伪距帧仿真技术

伪距指箭载接收机测量到的与 GPS/GLONASS 卫星间的距离，包含了各种测量误差，不是接收机与卫星的真实距离。伪距值与真实距离、卫星时钟与接收机时钟差、卫星钟差、地球自转误差、电离层误差、对流层误差等有关，伪距值仿真的精度，直接决定 GPS/GNSS 遥测软件地面定位结果的精度。研究了基于理论弹道的伪距帧仿真技术^[6]，建立伪距求解方程，采用逐步求精的方法，先计算主要因子，再逐步加入次要因子，逐步提高仿真精度。

3.2 基于预先仿真的实时仿真技术

由于仿真数学模型复杂，各种数据解析打包耗时较长，采用预先仿真和管道技术可提高数据仿真效率，满足火箭遥测数据仿真的实时性要求。导航定位数据仿真软件积累到 4 颗以上卫星导航电文后，启动仿真程序，根据测量船的跟踪弧段情况，预先仿真一定时间的原始数据并放置在管道中；测量船中心机仿真软件仿真箭遥全帧数据时，按一定频率从管道中读取 GPS/GNSS 原始数据，插入全帧数据中。该方法可确保测量船中心机仿真软件在一个全帧时间内都可读取到有效的 GPS/GNSS 原始数据。

3.3 箭载接收机帧格式组装技术

箭载接收机型号、对外数据接口种类繁多，不

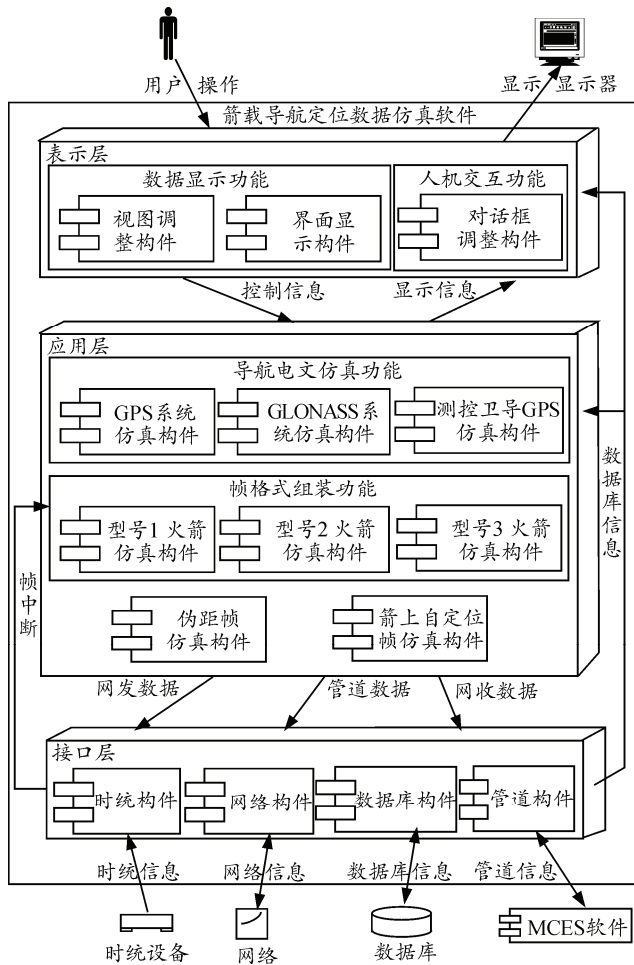


图 2 导航定位数据仿真软件层次结构

1) 接口层主要用于屏蔽软件系统与外界环境软硬件接口的差异性，为软件提供统一的软硬件接口，包括时统接口、网络接口、数据库接口、管道接口等。主要由时统接口构件、网络接口构件、数据库接口构件、管道接口构件组成，时统接口构件提供帧中断信号、时间信息等，网络接口构件提供网络数据接收发送服务、TCP/IP 协议服务、UDP 协议服务等，数据库接口构件提供数据库连接、数据读写服务等，管道接口构件提供与 MCES 数据交换服务。

2) 应用层主要用于实现各型号火箭箭载导航

同接收机的箭载 GPS/GNSS 原始数据结构均不相同。因此，全面梳理了各种型号接收机外部接口，建立了相应的仿真模型，按照面向对象设计方法，抽象出公共基类，在基类的基础上构建接收机帧格式仿真类家族，既实现当前已有型号接收机格式，又方便后续新型号接收机的扩展。为满足箭载 GPS/GNSS 原始数据下传的时序要求，采用基于伪距帧帧频调度机制的帧格式组装技术，优先安排伪距帧数据下传。

4 结论

测量船中心机箭载导航定位数据仿真软件与测量船中心机仿真软件集成，实现箭载 GPS/GNSS 原始数据仿真，既丰富了测量船测控系统联调演练的手段，又测试了测量船中心机 GPS/GNSS 遥测软件的正确性，也便于后续任务加装新型号接收机的系

(上接第 89 页)

各轴动态跟随主轴速度，不挂料、电机运行平稳，不但保证了在不同情况下的针距的一致性，且实际

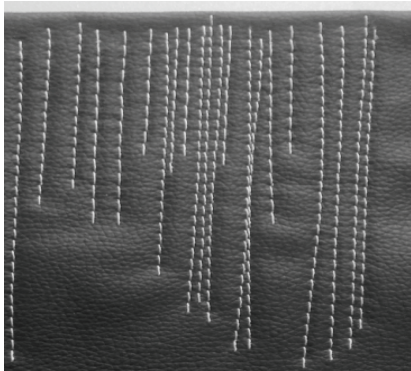


图 7 皮革面料下的任意轨迹线缝效果图

4 结束语

在项目实践中，在充分的理论分析基础上，在罗拉车线缝中实现了此跟随控制算法，取得了预期的设计效果：

- 1) 不同负载下，主轴速度的波动未对线迹产生影响，大大降低了对主轴刚性和带载要求；
- 2) 实现了高速倒缝时平滑反向，对上、下滚轮的机械冲击大幅度下降，不丢步，送料平稳；
- 3) 另外，该同步跟随控制的思想仍可用在类似的控制场合，可以降低对主动轴的机械刚性要求。

统联试和测试，对增强测量船导航定位数据处理能力具有重要意义。

参考文献：

- [1] 总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. GPS 技术与应用[M]. 北京：国防工业出版社：2004：48-52.
- [2] 吴国栋，王振中，饶爱水，等. 火箭发射中 GPS 导航定位在新一代航天测量船海上测控中的应用[M]. CSNC2010 第一届中国卫星导航学术年会，2010：5.
- [3] 江文达. 航天测量船[M]. 北京：国防工业出版社，2002：65-68.
- [4] 简仕龙. 航天测量船海上测控技术概论[M]. 北京：国防工业出版社，2009：28-31.
- [5] 陈英敏. GPS 导航卫星仿真系统设计[J]. 微计算机信息，2011，27(11)：123-125.
- [6] 裴澍炜，等. 航天测量船箭载 GPS 测量数据仿真算法设计[J]. 海上测控与管理，2012(3)：36-39.

缝纫出的针距与理论要求的针距能很好地符合，参见图 7 和图 8。



图 8 A4 打印纸下的任意轨迹线缝效果图

参考文献：

- [1] 王体泮，武少龙，郭太清. 膛线缠角的一种新型检测方法[J]. 兵工自动化，2013，32(9)：73-75.
- [2] 王体泮，张志尚，赵晓东. 裁刀切向跟随与切向刀补算法研究[J]. 兵工自动化，2013，32(2)：91-93.
- [3] 李瑾，杨贻嘉，荣嵘，等. 定时同步算法[J]. 兵工自动化，2013，32(12)：23-27.
- [4] 袁震. 基于消息中间件的数据同步更新方法[J]. 兵工自动化，2013，32(7)：93-96.
- [5] Microsoft Visual C++ 6.0 类库参考手册：下册[S]. 北京：北京希望电脑公司，1999.