

文章编号: 2096-1472(2017)-05-30-03

卫星导航信号模拟器加速度性能测试方法研究

胥 婕, 胡立志, 徐 亮, 马志超, 董 莲

(上海市计量测试技术研究院, 上海 201203)

摘 要: 加速度性能是影响卫星导航信号模拟器动态特性的重要技术指标, 当前检测卫星导航信号模拟器加速度性能的方法虽从理论上进行了分析研究, 但在实际检测工作中, 缺少实用可行的测试方法。本文围绕卫星导航信号模拟器加速度性能测试方法展开研究, 在对多普勒效应进行研究的基础上, 分析卫星导航信号模拟器加速度性能测量原理, 搭建动态性能测试平台, 并开展实验验证测试方法的正确性、实用性和有效性。

关键词: 卫星导航信号模拟器; 加速度; 多普勒效应; 测试方法

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

Methodology on Measuring Acceleration Performance of the Satellite Navigation Signal Simulator

XU Jie, HU Lizhi, XU Liang, MA Zhichao, DONG Lian

(Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, Shanghai 201203, China)

Abstract: Acceleration performance is an important technical indicator of dynamic characteristics of the satellite navigation signal simulator. Only theoretical analysis and researches have currently been applied to measure acceleration performance of the simulator, with lack of practical and feasible test methods in daily testing work. With the research of the Doppler effect, this paper analyzes the measurement principles, builds a dynamic performance test platform and carries out experiments to verify the correctness, practicality and effectiveness of the test method.

Keywords: the satellite navigation signal simulator; acceleration; Doppler effect; test methods

1 引言(Introduction)

随着北斗卫星导航系统的建设, 卫星导航这个新兴技术越来越受到各行各业的青睐^[1], 卫星导航接收机也受到广泛的应用。由于卫星导航接收机主要应用于航海和航空测速、测绘高精度测量等领域, 其输出测量数据的准确性、可靠性至关重要^[2-4]。卫星导航信号模拟器根据具体测试要求, 生成和运行多种不同的模拟场景, 对卫星导航接收机开展测试与验证, 因此, 卫星导航信号模拟器模拟输出的射频信号性能直接影响卫星导航接收机的测试结果^[5]。为保证日益增长的卫星导航接收机测试需求和正确可靠评估的需要, 建立标准、完善的卫星导航信号模拟器关键指标测量校准方法极其重要^[6]。

在对卫星导航信号模拟器进行测试与校准工作中, 主要考察的是其射频信号的性能指标。射频信号性能指标主要包括信号功率控制、动态性能、伪距误差控制、信号频谱纯度、内部时基频率准确度和稳定度等, 动态性能是影响卫星导航信号模拟器动态特性的重要技术指标, 其中加速度性能

是动态性能中重要的性能之一。由于卫星与地球之间存在相对运动, 以及实际卫星导航接收机的动态性能, 接收机接收到的射频信号存在时变的多普勒, 这要求卫星导航信号模拟器模拟的射频信号在加速度上满足指标要求。然而, 目前对于卫星导航信号模拟器加速度性能测试方法的相关研究较少。

本文在多普勒频移产生原理的基础上, 设置卫星和接收机相对运动场景, 通过放大器放大较小射频导航信号电平, 基于频率计、自动采集卡和LabVIEW软件构建频率自动采集装置对模拟输出的射频信号实现自动采集, 基于最小二乘拟合合法并采用MATLAB软件开发动态性能分析计算软件, 能够实现根据频率自动采集装置获取的多普勒频移计算加速度结果, 其测试方法可行, 测试结果稳定可靠, 能够为卫星导航信号模拟器加速度性能的检测工作提供技术依据。

2 测量原理(Test principle)

2.1 卫星导航信号模拟器工作原理

GNSS卫星信号模拟器系统通常采用“DSP+FPGA+上位

机”主体结构方案,主要包括上位机数仿显控模块、DSP信息处理模块、FPGA信号处理模块、射频模块和DA数模转换模块。其中,上位机主要负责设置载体运动轨迹、星历、历书、误差等参数;DSP负责模拟信号生成过程中的核心计算工作,包括计算用户轨迹,生成导航电文,实时计算可见卫星位置信息,计算导航信号传播延迟等;FPGA主要负责接收从DSP送入的载波控制字、码控制字和导航电文,生成调制后的射频信号。模拟器系统工作原理流程如图1所示。

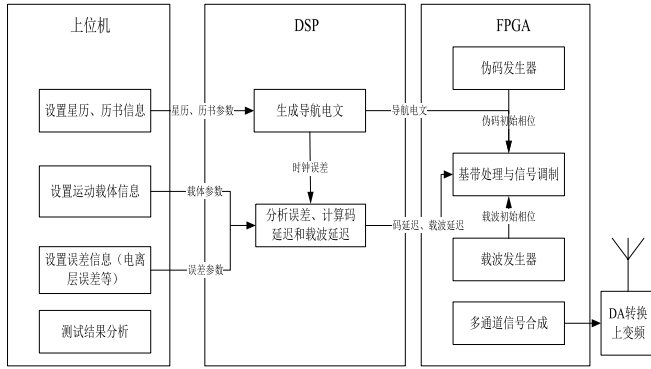


图1 模拟器系统工作原理

Fig.1 Work principle of satellite navigation signal simulator

2.2 多普勒效应

多普勒效应,指当发射源与接收体之间存在相对运动时,接收体接收的发射源发射信息的频率与发射源发射信息频率不相同的现象。当信号源与接收机接近时,接收到的频率升高,而离开时降低^[7]。接收频率与发射频率之差称为多普勒频移。目前多普勒效应已广泛用于机载预警、导航、导弹制导、卫星跟踪、战场侦察、靶场测量、武器火控和气象探测等方面^[8]。

设发射源 S ,接收体 L 分别以速度 $\vec{v}_S$ 和 $\vec{v}_L$ 在静止的介质中运动,接收体单位观测矢量为 $\vec{r}$,发射源发出频率为 f_s 的信号,信号在介质中的传播速度为 v ,如图2所示^[9]。

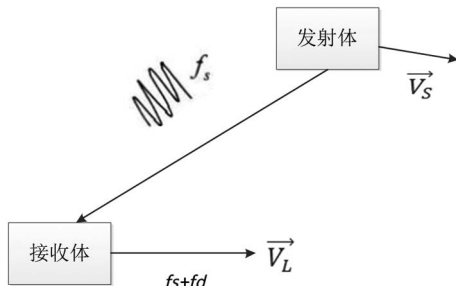


图2 多普勒效应示意图

Fig.2 Schematic diagram of the Doppler effect

根据多普勒效应原理,接收体接收到的多普勒频移如式(1)所示:

$$f_d = \frac{(\vec{v}_L - \vec{v}_S) \cdot \vec{r}}{v} f_s \quad (1)$$

2.3 动态性能测量原理

在实际卫星导航系统中,卫星与接收机都相对于地球以一定速度在运动,卫星和接收机速度矢量与径向方向的夹角一直在变化,因此根据多普勒频移计算相对速度时相当复杂。然而在卫星导航信号模拟器中,由于卫星和接收机的状态可设,如果将卫星状态置为相对于地球静止,接收机置为沿着卫星径向方向做速度为 V_L 的匀速运动,那么式(1)可简化为式(2):

$$f_d = \frac{(\vec{v}_L - \vec{0}) \cdot \vec{r}}{c} f_s = \frac{\vec{v}_L \cdot \vec{r}}{c} f_s = \frac{v_L}{c} f_s \quad (2)$$

式中, f_d 为多普勒频移, c 为光速, f_s 为卫星导航接收机静止时接收到的射频信号频率值。

根据式(2),卫星与接收机的相对速度可通过接收机接收到信号的多普勒频移计算得到,如式(3)所示:

$$V_L = f_d \cdot \frac{c}{f_s} \quad (3)$$

由于加速度可以通过速度改变量计算得到,利用以上原理,将卫星状态置为相对于地球静止,接收机置为沿着卫星径向方向做加速度为 a 的匀加速运动,在观察时间 ΔT 内,同样可求得相对加速度表达式,如式(4)所示:

$$a = \frac{f_d}{\Delta T} \cdot \frac{c}{f_s} \quad (4)$$

3 测试方案(Test platform)

3.1 测试平台

搭建卫星导航信号模拟器加速度性能测试平台,如图3所示,测试平台包括导航信号控制模块,卫星导航信号模拟器、放大器、频率自动采集装置和加速度性能分析计算软件。其中导航信号控制模块连接于卫星导航信号模拟器,用于控制卫星导航信号模拟器以自由配置检测场景;卫星导航信号模拟器用于生成卫星导航信号;放大器,例如低噪放大器,连接于卫星导航信号模拟器与频率计之间,若需要测试强度较小的信号,则需要放大器将卫星导航信号放大,以供频率计接收;频率自动采集装置基于LABVIEW软件开发频率自动采集程序将频率计测量的射频导航信号频率值自动采集至计算机文本中;加速度性能分析计算软件根据频率自动采

集装置获取的多普勒频移计算加速度结果。

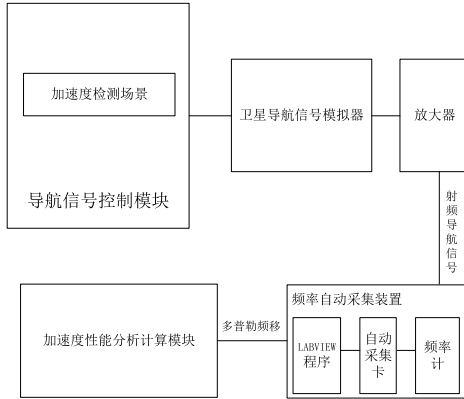


图3 卫星导航信号模拟器加速度性能测试平台

Fig.3 Test platform of measuring acceleration performance

3.2 测试方法

基于卫星导航信号模拟器加速度性能测试原理和平台，加速度性能测试步骤主要分为几个过程，具体流程如图4所示。

- (1)卫星导航信号模拟器关闭大气延迟，消除大气延迟带来的多普勒频移。
- (2)选择卫星定位系统，并设置信号频率。
- (3)设置一颗地球静止轨道卫星，仿真卫星相对地球静止场景。
- (4)设置卫星发射信号，使其只发送单载波调制信号。
- (5)设置接收机加速度运动状态。
- (6)运行仿真场景。
- (7)频率自动采集装置采集记录多普勒频移。
- (8)加速度性能分析计算软件根据公式计算速度值。

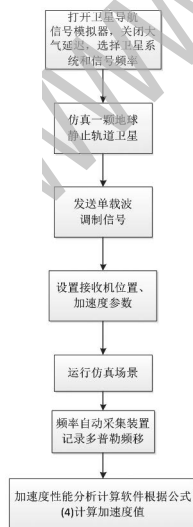


图4 卫星导航信号模拟器加速度性能测试方法

Fig.4 Test method of measuring acceleration performance

4 实例验证(Experiments)

在GPS L2和BDS B1频点下，分别进行加速度值为 5m/s^2 、 100m/s^2 、 10000m/s^2 、 192000m/s^2 的测试，测试结果如图5和图6所示，图中横坐标表示测试时间，单位为s，纵坐标表示多普勒频移，单位为Hz，根据式(4)可得到斜率值为 $a \cdot \frac{f_s}{c}$ 。根据测试结果，本论文研究的测试方法的测量结果分辨率达到 1mm/s^2 。

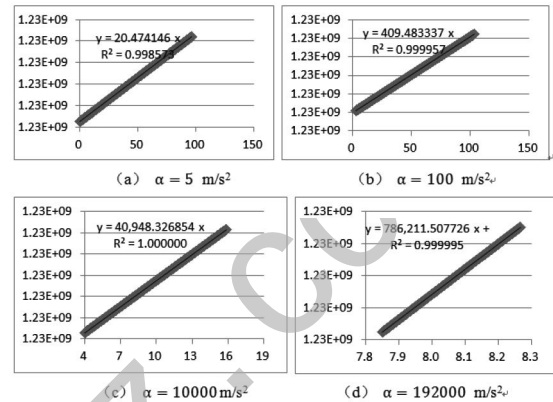


图5 GPS L2频点

Fig.5 GPS L2 frequency point

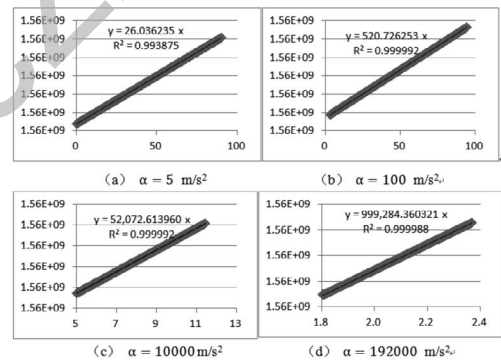


图6 BDS B1频点

Fig.6 BDS B1 frequency point

5 结论(Conclusion)

本文提出卫星导航信号模拟器加速度性能测试方法，在多普勒频移产生原理的基础上，搭建一套卫星导航信号模拟器加速度性能测试平台，形成加速度性能具体检测方法，构建频率自动采集装置对模拟输出的射频信号实现自动采集，开发加速度性能分析计算软件对获取的多普勒频移通过最小二乘拟合法解算出加速度性能结果。通过实验验证该测试方法可行，测试结果稳定可靠，能够为卫星导航信号模拟器加速度性能的检测工作提供技术依据。

参考文献(References)

- [1] Dragos Nicolae Vizireanu.A fast,simple and accurate time-

(下转第26页)