

双星时差频差定位地面测试中的同步问题研究

徐凡

(中国西南电子技术研究所 四川 成都 610036)

摘要 时差频差技术指标测试是系统性能评估的重要组成部分。搭建半实物仿真环境可模拟空间无线信道传播特性,对定位技术指标进行有效测试,同步技术在测试过程中起到至关重要的作用,直接影响时差、频差和定位精度的测试效果。通过分析比对现有同步方法,提出一种硬件同步和软件触发相结合的同步方法,并设计基于无线信道仿真仪的半实物仿真环境测试流程。试验表明,利用该方法能够很好对时差频差定位技术指标进行有效测试。

关键词 时差频差 定位 半实物仿真系统 地面测试 同步技术

中图分类号 TP274 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.06.025

SYNCHRONIZATION TECHNOLOGY IN GROUND TEST FOR DUAL-SATELLITE GEOLOCATION SYSTEM USING TDOA AND FDOA

Xu Fan

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, Sichuan, China)

Abstract Testing of TDOA/FDOA indicators is the most vital part of system performance evaluation. Building semi-physical simulation environment can simulate the propagation characteristics of space wireless channel and can effectively test the location technical indicators before launching. Synchronization technology plays an important role in the testing process, which directly affects the accuracy of TDOA/FDOA indicators. By analyzing and comparing the existing synchronization methods, I proposed a synchronization method combining hardware synchronization and software triggering, and designed a semi-physical simulation environment based on wireless channel simulator. The application results show that the ground test system using this synchronization can effectively test TDOA/FDOA and location indicators.

Keywords TDOA/FDOA Location Semi-physical simulation Ground test Synchronization technology

0 引言

双星时差频差定位(Time Difference and Frequency Difference of Arrival, TDOA/FDOA)^[1-6]作为一种高精度无源定位体制,利用两个保持一定距离的卫星接收机同时截获地面辐射源发出的信号,求解时差和频差曲面,再结合辐射源位于地球表面的信息,确定目标辐射源的地理位置。

目前,关于时差频差定位算法和定位误差^[7-10]方面的理论研究已经比较细致和深入,但在工程交付前,为有效检验时差频差定位技术的系统性能,需要建立

具有复杂电磁环境^[11]模拟能力的系统测试平台,通过搭建动态测试场景,达到验证在轨运行性能的目的。在地面测试过程中,一般采用自动测试系统对整个测试进程进行精确控制,确保主从接收机信号采集和测试信号施加严格同步,才能满足测试方法的准确性和可靠性。文献[12]介绍了基于多通道矢量发生器搭建动态测试场景的测试方法,但模拟场景的产生和测试流程控制均很复杂,不利于自动化集成测试。文献[13]介绍了基于无线信道仿真仪的半实物仿真方法,取得了很好的仿真测试效果,但未提及实时定位过程中的同步问题和解决方法,无法在工程上实时对时差频差动态指标进行测试。本文针对时差频差定位技术

动态测试场景下快速、精确、有效测试问题,提出了一种硬件同步和软件触发相结合的同步方法,并在无线信道仿真真搭建的半实物仿真系统中,使用该方法完成时差频差及定位指标的实时动态测试验证。测试结果表明,该同步方法能够精确地控制整个系统的同步误差,达到验证时差频差定位技术指标的目的。

1 半实物仿真环境下的时差频差定位测试

1.1 同步原理

文献[5]中详细描述了双星时差频差的工作原理。图1给出了在地面构建的双星时差频差测试场景功能框图。其具体过程为:从接收机将采样数据通过线缆方式(有线连接,模拟实际主从接收机间的无线链路)传递给主接收机,主接收机对两个接收机采集到的数据对信号分选、配对,求解时差和频差,结合相同时刻主从接收机的位置和速度信息,利用定位算法解算辐射源位置。

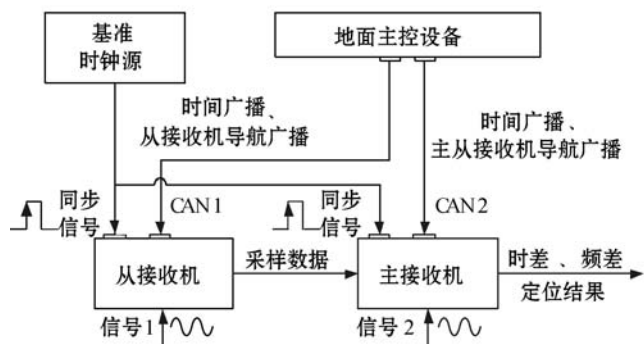


图1 时差频差定位测试系统功能框图

要保证测试场景正常工作,需具备三个条件:

① 主从接收机的采样时钟和工作节拍必须严格同步,以保证主接收机准确测量相同时刻信号的TDOA和FDOA;

② 主从接收机的导航信息(含位置、速度)和被测信号时频特性必须随时间同步变化;

③ 主接收机必须准确获取当前时刻主从接收机的位置和速度信息,以便利用定位方程实时求解辐射源位置。

1.2 同步方法

在双星时差频差地面测试中一般采用两种同步方法,即软件同步^[14]和硬件同步^[15]。软件同步方法简

单,对测试环境要求不高,常在静态场景下对时差频差指标测试,但在动态场景对时差频差和定位指标测试时,该方法存在一个弊端,即无法确保地面测试系统的计时系统和主从接收机的工作节拍保持严格同步。在定位工作状态下,主从接收机通过基准时钟源提供的时钟保持工作节拍同步,而地面测试系统的工作计时器与基准时钟源之间并无明显同步关系。长时间后,地面测试系统的计时器与主从接收机的工作节拍之间会出现滞后甚至跨秒等现象,虽不影响时差频差的估计和测量,但会使主接收机提取错误的导航信息,导致信号定位位置与目标真实位置出现较大偏离。因此,在动态场景下必须使用硬件同步的方式。

此外,在硬件同步条件下,通过对图1地面主控设备加以改造,配备同步信号硬件转软件的驱动接口,将基准时钟源的同步信号转换为地面测试系统的计时驱动。同时利用基准脉冲去触发启动信号模拟源,确保主从接收机的计时信息及导航信息、主从接收机工作节拍、辐射源变化信号三者在同一驱动之下。同步驱动信号导流图如图2所示。

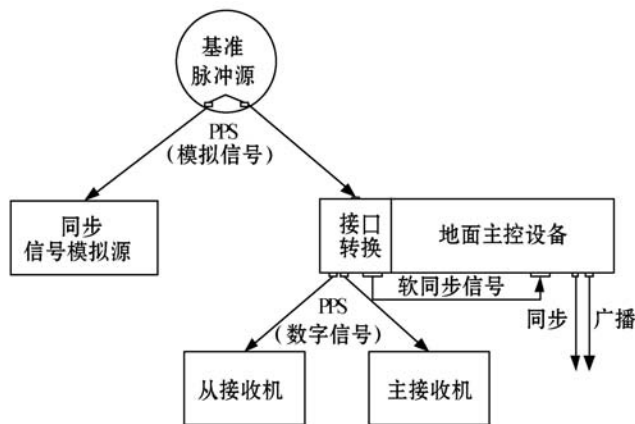


图2 同步信号驱动流图

1.3 半实物仿真系统

芬兰伊莱比特公司的EB-F8无线信道仿真仪是无线信道领域专用的、先进的信道模拟器,可模拟多种无线传输信道的多径传输、干扰、动态多径衰减等特性,具有多个通道同步工作的能力。在动态仿真环境下,通过STK(Satellite Tool Kit)定义卫星的运行轨迹和地面目标间的相对移动轨迹,得到信号经无线信道环境到达两颗卫星的时延和频移信息,应用ASO(航空及卫星建模工具套件)模块建立模型,可以模拟出最大1.25 MHz的多普勒频移、最长1 500 ms的传送延迟。图3给出了基于EB-F8的半实物仿真测试系统组成。

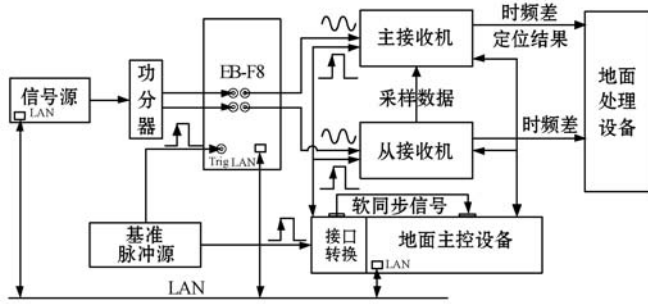


图3 半实物仿真测试系统

基准脉冲源产生的 PPS 同步信号输出至地面主控设备接口转换单元,在接口转换单元内部转换成两路差分的脉冲同步信号,为主从接收机提供同步工作节拍,同时变换为串口输出,在地面主控设备上运行的测试控制软件读取每秒一次的串口中断,作为测试控制软件的触发计时信号。

1.4 半实物仿真测试系统中关键同步触发技术

硬件同步和软件同步信号确保了主从接收机工作节拍和地面测试系统计时之间的协调同步,但仍不能保证无线仿真信道的播放与其同步。EB-F8 载入仿真信道模型文件后,还必须利用外部硬件脉冲,触发启动模型中的无线信道环境,使地面测试系统导航广播和无线信道模型的信号播放严格同步,便于主接收机实时解算地面信号辐射源位置。

假设利用 STK 产生的仿真场景起始时刻为 T_0 ,则必须在 T_0-1 时刻设置 EB-F8 为触发等待状态,在 T_0 时刻由脉冲跳变沿触发启动 EB-F8 的仿真场景。EB-F8 提供了 LAN 编程接口,利用 TCP/IP 接口控制其启动方式,核心代码如下:

```

Void ThreadEBF8()
{
    while (true)
    {
        _autoReset.WaitOne(); //等待软件触发计时信号
        if(_timeTick == _taskTime - 1) //判断任务开始前一秒
        {
            EBF8.Set("FallingEdge");
            //设置信道场景为脉冲下降沿触发启动
            EBF8.Set("Go"); //信道场景处于启动等待状态
            //待下一秒脉冲下降沿开始启动
            break; //线程结束
        }
    }
}

```

_taskTime 为测试任务的启动时刻,也是仿真场景的启动时刻,因实时定位的需要,导航信息提前 5 秒广播至主从接收机。利用该同步机制,可以确保整个测试系统能够逼真地反映真实的测试场景。

2 应用分析

下面以一个模拟的场景来测试同步效果。假设主从接收机是位于两个低轨太阳同步卫星上的传感器,两颗卫星轨道高度均为 700 km,星间距 100 km,目标地面辐射源位于东经 130°,南纬 55°的南印度洋海域,主要参数:EIRP 为 30 dBW,带宽 20 kHz,工作频率 425 MHz,调制样式 BPSK。

首先利用 STK 定义两个卫星和地面辐射源的初始位置,然后仿真计算分别得到辐射源到达主从接收机的时延和多普勒频偏结果,如图 4 所示。

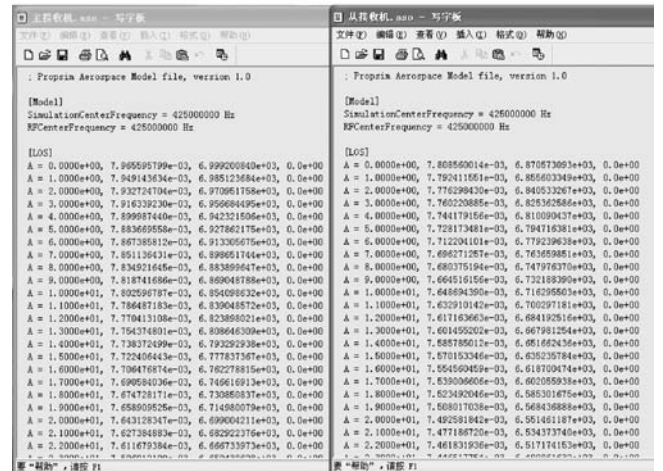


图4 无线信道模型文件

利用 EB-F8 无线信道仿真仪的 ASO 组件建立模型,导入图 4 中时延和多普勒的信息,生成无线信道仿真模型。地面测试系统提前将模型文件载入 EB-F8 运行内存,利用同步触发功能,同步启动信号源发射、无线信道模型播放、主从接收机采样、计时导航信息广播,主接收机利用文献[1]中的算法,对主从接收机同时采集的数据进行时差、频差测量以及信号辐射源位置解算,得到测量结果如图 5、图 6 所示。

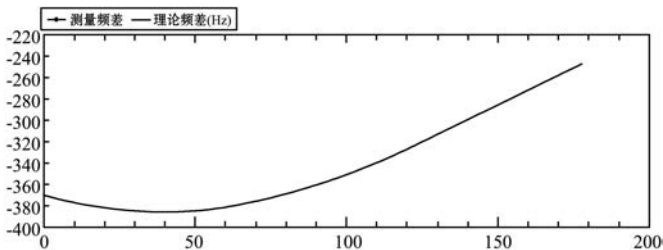


图5 频差测量曲线

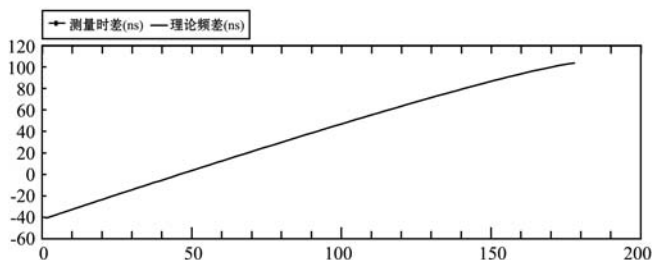


图6 时差测量曲线

对整个 180 秒的测试结果进行统计,结果如表 1 所示。

表1 测试统计结果

测试项	误差均值	误差方差
频差/Hz	0.058	0.061
时差/ns	-24.6	104
定位结果/km	0.862	0.97

对比图 5、图 6,结合表 1 统计结果,可以看出,测量得到的频差误差控制在 0.1 Hz 范围内,时差误差控制在 100 ns 附近,定位结果收敛,定位误差在 1 km 以内,测试环境满足时差和频差系统性能测试需要。

3 结 语

本文对双星时差频差定位测试中的同步方法进行了研究和比较,对硬件同步方法进行了适应性改进,在半实物仿真系统环境下,利用该同步触发技术,结合时差频差公开定位算法,对该同步技术可行性进行了有效验证。该方法对于多星组网或者星座组网下的地面定位指标测试同样具有借鉴意义。

参 考 文 献

[1] 朱伟强,黄培康,张朝. 利用互模糊函数联合估计的双星高精度定位技术[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(9):1294-1298.

[2] 彭华峰,夏畅雄,曹金坤. 基于最小二乘融合估计的双星时差频差定位[J]. 电讯技术,2014,52(4):425-438.

[3] 曲付勇,孟祥伟. 基于约束总体最小二乘方法的到达时差到达频差无源定位算法[J]. 电子与信息学报,2014,36(5):1075-1081.

[4] 侯燕,王煜,舒汀,等. 一种新的多站时差频差联合定位技术[J]. 现代雷达,2014,36(7):40-45.

[5] 王勤果. 低轨时差频差系统对运动目标的定位能力[J]. 电讯技术,2017,57(5):523-527.

[6] 郭文龙. 基于 TDOA 和 FDOA 多星联合定位技术研究[J]. 南京理工大学学报,2009,12(2):195-202.

[7] 田达,王根弟,卢鑫. 雷达信号时差频差定位关键技术研究[J]. 航天电子对抗,2011,27(1):45-49.

[8] 郭福成,樊响. 双星时差频差联合定位方法及其误差分析[J]. 宇航学报,2008,29(4):1381-1386.

[9] 李振强,黄振,陈曦,等. 时差频差精度的时变性影响及补偿估计方法[J]. 系统工程与电子技术,2016,38(3):481-486.

[10] 杨宇翔,夏畅雄,同武勤. 高低轨双星定位中的时变时频差参数估计[J]. 信号处理,2012,28(10):1465-1474.

[11] 刘浩,于劲松,张海杰,等. 基于半实物仿真的多普勒雷达测试系统设计[J]. 测控技术,2012,31(10):121-123.

[12] 李文臣. 基于多通道矢量信号源的时差定位系统性能测试[J]. 现代雷达,2015,37(10):21-24.

[13] 卢鑫,董乔忠,朱晓丹. 基于无线信道仿真仪的双星定位半实物仿真[J]. 航天电子对抗,2014,30(5):12-15.

[14] 曾巍,刘航,王森,等. 一种有效载荷地面测试系统星地时间的同步方法[J]. 航天器工程,2016,25(6):131-137.

[15] 祖先锋,潘孟春,罗飞路,等. 导弹测试系统中同步问题研究[J]. 导弹与制导学报,2006,26(3):61-63.

(上接第 123 页)

[5] Burje P R, Karande K J, Jagadale A B. Embedded on-board diagnostics system using CAN network[C]//2014 IEEE Global Conference on Wireless Computing & Networking (GCWCN). IEEE, 2015.

[6] 李孝同,施思寒. 小卫星星务管理技术[M]. 北京:中国宇航出版社,2014.

[7] Kimm H, Jarrell M. Controller Area Network for fault tolerant small satellite system design[C]//IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 2014.

[8] De Andrade R, Hodel K N, Justo J F, et al. Analytical and Experimental Performance Evaluations of CAN-FD Bus[J]. IEEE Access, 2018, 6:21287-21295.

[9] Shin J W, Oh J H, Lee S M, et al. CAN FD controller for in-vehicle system[C]//2016 International SoC Design Conference (ISOCC). IEEE, 2016.

[10] Zago G M, de Freitas E P. A Quantitative Performance Study on CAN and CAN FD Vehicular Networks[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(5):4413-4422.

[11] Cena G, Bertolotti I C, Hu T, et al. Improving compatibility between CAN FD and legacy CAN devices[C]//IEEE International Forum on Research & Technologies for Society & Industry Leveraging A Better Tomorrow. IEEE, 2015.

[12] 刘超,李军站,黄伟. 流程加工 CAN 测控网络的应用层协议研究[J]. 计算机工程,2014,40(9):130-133.

[13] 陶志刚,李晴. 小卫星星载 CAN 总线的应用层传输方法研究[J]. 航天器工程,2011,20(3):103-107.

[14] 陈海燕,刘思远,袁春柱,等. 支持多主通信的星载 CAN 总线应用协议设计[J]. 航天器工程,2014,23(4):72-76.

[15] 何熊文,朱剑冰,程博文,等. 星载标准接口业务在航天器中的应用方法[J]. 航天器工程,2015,24(6):52-58.