

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.04.02

导航终端测试技术研究综述

王田, 夏天, 张书锋, 陈强, 彭明

(北京东方计量测试研究所, 北京 100086)

摘要: 以导航终端为代表的用户部分作为卫星导航系统的重要组成部分, 种类多种多样, 功能和性能各不相同, 对其功能和性能进行测试验证显得尤为必要, 因而导航终端测试技术成为卫星导航应用的核心技术之一。本文依托某课题对四种导航终端测试环境做了系统介绍, 从而引出开展公共测试平台研究的必要性和紧迫性。

关键词: 导航终端; 测试环境; 公共测试平台

中图分类号: TB9; TN965.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)04-0006-04

Study on Testing Technology of Navigation Terminal

WANG Tian, XIA Tian, ZHANG Shufeng, CHEN Qiang, PENG Ming

(Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China)

Abstract: The navigation user terminal is an important part of the satellite navigation system. It has diverse species and its functionality varies. It's of great significance to test its functionality and performance. Thus navigation terminal testing technique has become one of the core technologies of satellite navigation applications. This paper makes a systematic presentation on four kinds of testing environment based on a project. It leads to the necessity and urgency of carrying out research on a public test platform.

Key words: navigation terminal; test environment; public test platform

0 引言

随着卫星导航系统的发展和应用的普及, 卫星导航产业成为增长最为快速的产业之一, 同时也成为宇宙科学、地球物理学等领域最为有效的科研手段, 卫星导航已经与互联网、移动通信共同成为 21 世纪信息技术领域发展的三大支柱产业。卫星导航系统作为基础性的信息系统能提供全球性的导航定位与授时服务, 卫星导航的应用已经渗透到了国家安全、经济建设与发展以及人们日常生活的几乎所有领域, 并将产生越来越大的影响^[1]。纵观全球, 目前除已建成的美国 GPS 导航系统外, 正在建设中的包括欧洲的伽利略系统、俄罗斯的 GLONASS 系统、我国的北斗卫星导航系统。

卫星导航系统由空间部分、地面控制部分和用户部分组成。导航终端作为用户部分是卫星导航系统应用的重要组成部分, 卫星导航系统的导航、定位、授

时等都是通过终端实现的。随着卫星导航技术在生产生活领域应用的不断深入, 导航终端的使用规模在不断扩大, 导航终端的类型多种多样, 其功能和用途各不相同, 对其功能和性能的测试验证显得尤为重要。因此, 导航终端的测试技术是卫星导航应用的核心技术之一, 是研发具备自主知识产权的高性能导航终端的必要手段, 可有力推动导航终端的规范化、标准化发展, 具有巨大、长远的经济效益和社会效益。

1 导航终端测试环境

卫星导航终端测试环境包括室内测试、室内辐射环境测试、地基测试场测试和实际信号测试^[2-3]。下面分别予以介绍。

1.1 室内测试

该测试环境利用卫星导航信号模拟器搭建测试平台, 是目前最常用的测试形态^[4]。其测试原理是利用卫星导航信号模拟器产生卫星射频信号输入给被测终端, 终端卫星信号处理模块接收信号进行定位解算并将导航结果上报给控制评估计算机, 控制评估计算机将上报的定位结果与模拟器的参考轨迹信息进行比对, 得出终端的性能参数, 测试原理如图 1 所示^[5-6]。

收稿日期: 2015-04-23; 修回日期: 2015-05-08

作者简介: 王田(1990-), 男, 甘肃会宁人, 硕士研究生, 主要从事卫星导航测试研究; 张书锋(1980-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事计量测试管理、卫星导航测试研究等工作。

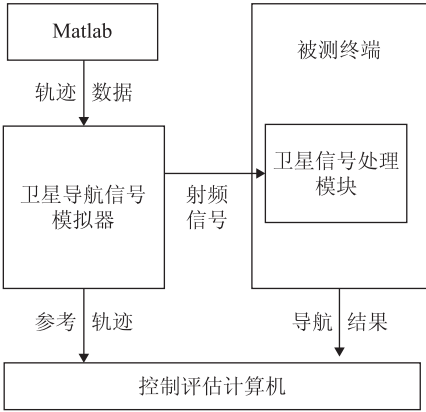


图 1 终端测试原理

卫星导航信号模拟器是该测试形态的主要支柱，具备完备的卫星导航信号仿真能力和操控能力，能够设定某颗卫星位置变化规律，轨道、卫星钟差、电离层对流层时延等系统误差可控，输出信号功率亦可控，成为导航实验室和测试研发机构不可或缺的仪器。利用其搭建的测试平台进行终端性能测试，具有成本低、重复性好、测试流程可控、测试效率高等优点。

北京东方计量测试研究所(以下简称“航天五院 514 所”)为开展北斗比对测试工作，建立了一套完整的自动化模拟环境测试系统，其连接示意图如图 2 所示。

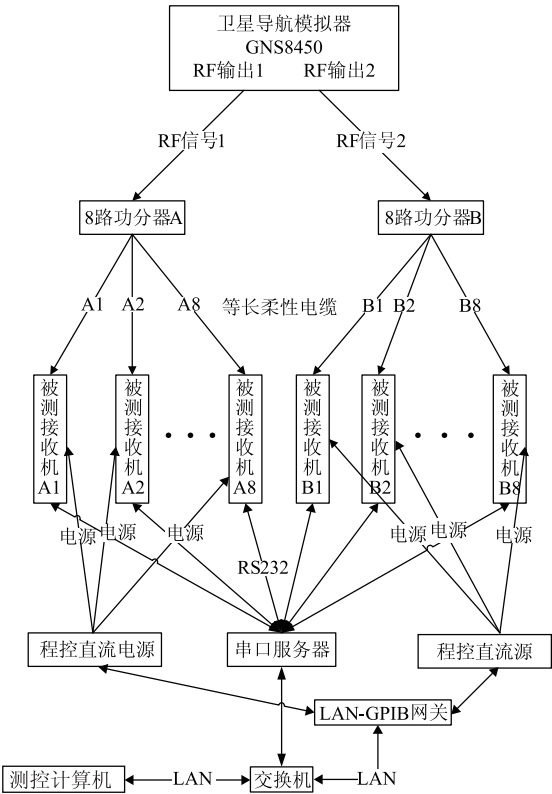


图 2 模拟信号测试系统连接示意图

该模拟信号测试系统由 GNSS 卫星信号模拟器、多路射频信号分配系统和测试控制与评估软件分系统组成，支持 8 路并行自动化测试。该系统能够模拟多体制多颗卫星在轨的位置分布和运动，模拟卫星星历、导航电文、对流层延迟、电离层延迟等，模拟载体运动轨迹，实时或近实时地完成闭环仿真试验；同时模拟信号测试系统具备对多体制卫星接收机性能的全面测试和评估功能，测试的项目可涵盖 GNSS 卫星导航用户设备的定位精度、灵敏度、定位时间、动态性能等诸多测试项目。

在测试方法上，该系统优化了测试流程，通过自动定时播发测试相关指令，实时接收被测设备上报数据，利用专门的评估软件给出实时评估结果，极大地提高了测试效率和测试可控性。

1.2 室内辐射环境测试

该测试形态主要是基于微波暗室的测试环境，优点在于成本较低、重复性好、可控性好、可全天候工作，与外界电磁环境隔离便于保密，可以对包括天线和射频前端在内的整机系统进行测试^[7]。

为开展终端测试，航天五院 514 所建立了北斗一号无线暗室测试系统，其系统连接示意图如图 3 所示。

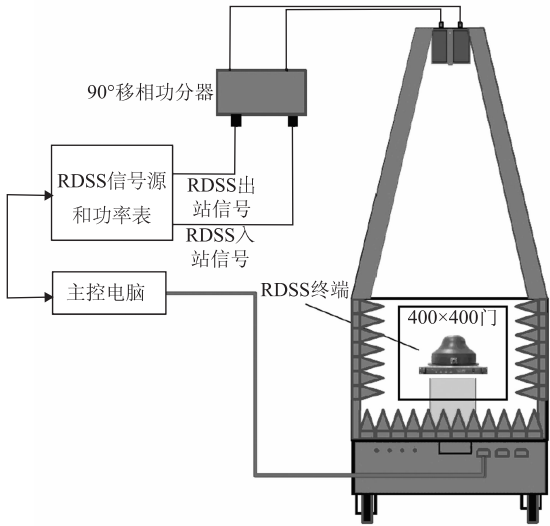


图 3 测试系统连接图

开展无线模式测试时，北斗一号用户设备置于微波暗室内的转台上，测试控制与评估系统控制北斗一号出站信号模拟器通过天线发射卫星导航信号，入站接收机通过天线接收具有 RDSS 功能的用户机发射的入站信号，分别设置不同的场景对用户机的定位、定时、测距、位置报告等功能进行测试。无线模式测试设备布局联系图如图 4 所示。

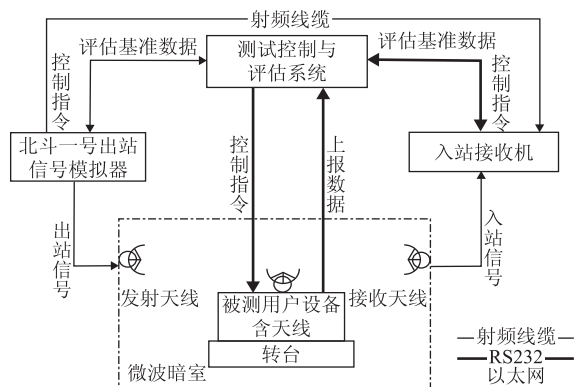


图4 无线测试模式设备布局连接图

1.3 地基测试场测试

地基测试场是针对卫星导航系统性能评估、改进，对新的信号格式、新的服务功能进行试验、验证以及对导航用户设备进行测试、试验和鉴定的专用试验环境的统称^[8]，可对卫星导航系统整体进行性能测试，可对各类导航终端设备进行测试验证。地基测试场一般需要在空旷区域建设，成本高、容易受到外界射频干扰进而影响测试精度、保密性差等^[9]。

目前世界上已有多个国家建成或正在建设卫星导航地基测试场，作为导航系统的试验验证手段为导航系统的建设服务，以便提高整个系统的先进性和可靠性，主要的卫星导航测试场有：美国GPS系统建设的YUMA系统以及IGR系统、德国的伽利略欧洲测试系统GATE、欧洲伽利略测试场(GTR)^[10]、中国的伽利

略测试认证环境项目(CGTR)^[11]。

CGTR是一个针对中国境内Galileo接收机、用户终端和应用的综合测试认证和试验演示系统环境。在Galileo系统全部建成之前，CGTR承担起Galileo接收机及应用系统在中国区域的开发、测试、试验、演示、应用推广等一系列职能；在Galileo系统正式投入运行之后，CGTR将继续发挥Galileo接收机产品在中国区域的测试认证和应用演示推广作用，还可以作为Galileo本地增强系统的应用开发提供服务。根据CGTR系统承担的职能，将其划分为四个功能组成单元：即室内测试认证系统(ITE)、外场测试试验系统(OTE)、应用演示与推广中心(ADC)、测试接收机开发(GTRD)。其内外场测试环境和系统体系结构分别如图5和图6所示。



图5 内外场测试环境

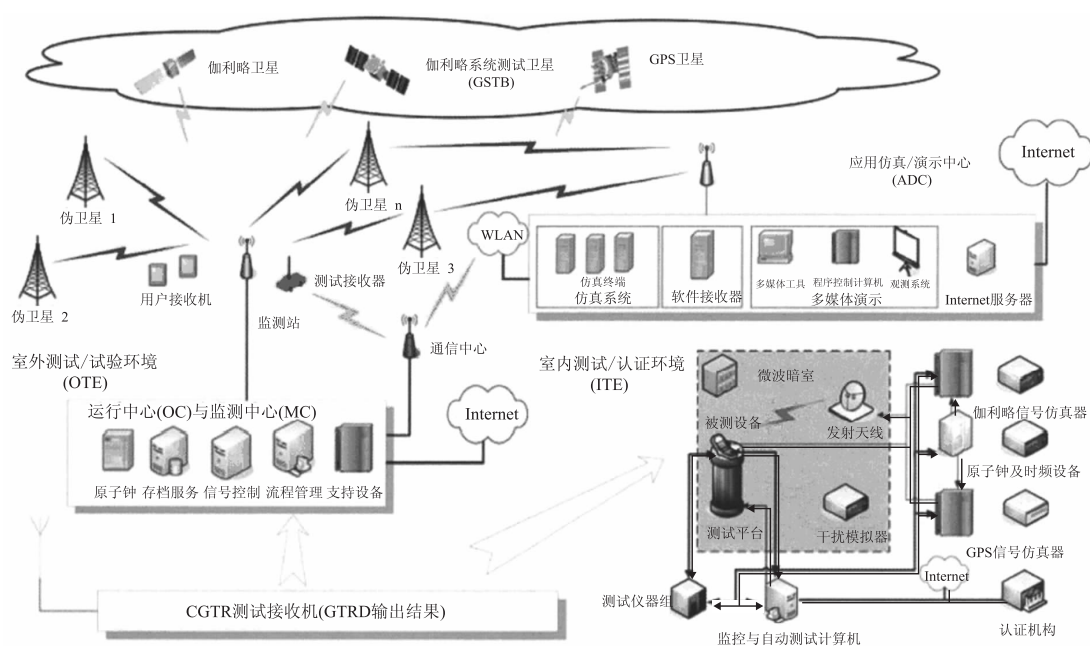


图6 CGTR系统体系结构

1.4 实际信号测试

此类测试形态即在实际信号环境下采用跑车进行测试,没有模型的近似,完全符合真实情况,测试的结果就是导航终端的实际性能。实际信号测试结果与测试场景的星座状态、终端周边环境以及当时的大气信号传播环境密切相关,测试不可重复,测试成本较高。

航天五院 514 所建立了一套完整的实际信号跑车测试平台,平台由测试车辆、高精度光纤深耦合组合导航系统、固定工装、计算机、UPS 电源等组成。其测试系统原理及平台组成示意图如图 7、图 8 所示。

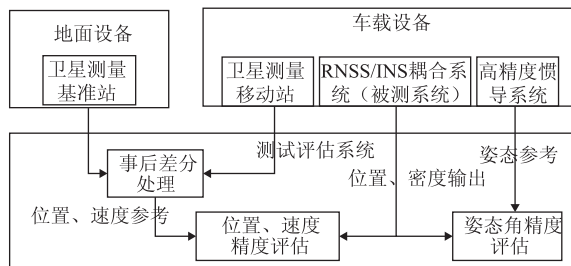


图 7 实际信号测试系统原理图

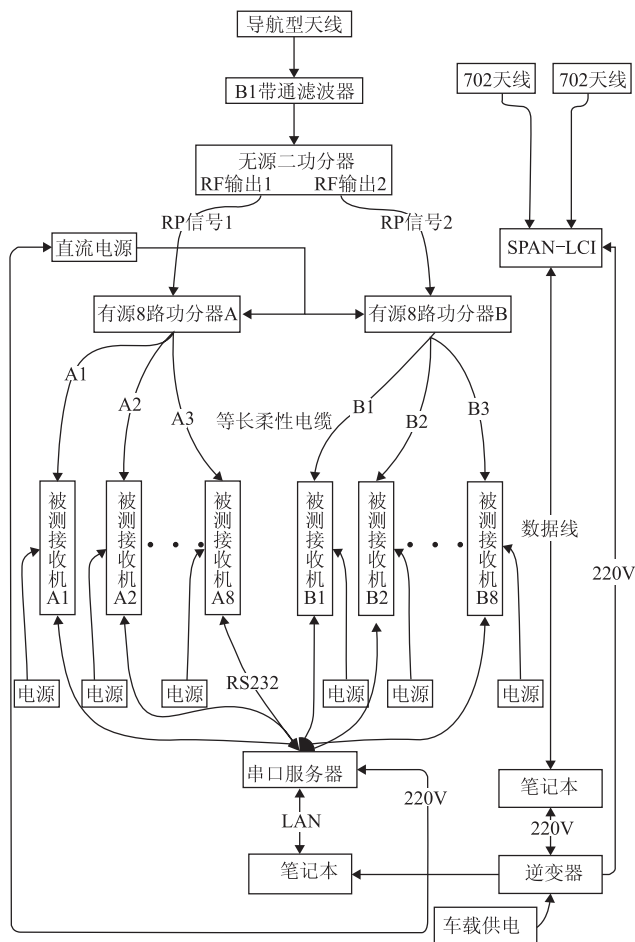


图 8 实际信号测试平台

实际测试中,将组合惯导系统基准站和流动站进行安装、连接及调试,被测终端放置在测试工位,对组合惯导系统及被测设备加电,测试系统发送测试指令,实时记录组合惯导系统和被测设备数据,事后进行评估。

实际信号跑车测试完全符合真实情况,但测试成本较高、重复性差,常用于普通民用终端的测试。

2 总结

综上,导航终端的测试方法可以分为两大类:基于模拟器的模拟导航信号测试和真实信号测试。

基于模拟导航信号的终端性能测试方法是利用卫星导航信号模拟器仿真的导航卫星信号,通过设置不同的测试参数和场景,为导航终端的研制和测试提供一个稳定、准确、可靠和易用的测试环境,优点是测试场景完全受控,测试可重复进行,各类误差影响、信号电平等因素能够精确量化,但是用模拟信号测试方法来评估终端在实际信号接收环境下的性能时有明显的局限性,真实信号有各种各样的随机因素,而模拟的信号由于其仿真模型的局限性,不能完全模拟真实信号的随机因素,所以在模拟信号测试方法中的测试结果会与真实信号接收环境下的性能差异较大^[12]。

真实信号的测试方法是利用待测试终端接收实际的卫星信号,然后评估其性能,真实信号测试没有模型的近似,测试的结果就是接收终端的实际性能。真实信号结果与测试场景的星座状态、电离层、多路径、接收机周边环境以及当时的大气信号传播环境密切相关,所以测试可重复性较差,测试成本较高。

为此,结合两者优点,使导航终端测试更接近真实场景而又减少测试成本,需大力开展导航信号高精度采集技术的研究,通过采集存储实际卫星导航信号,并在实验室环境下进行回放,能够有效完成卫星导航终端的实际使用性能测试,不仅能够避免实际外场测试时卫星信号的不确定性,而且可以减少外场测试的时间和费用。

3 展望

北斗导航测试数据规范化是北斗技术产业化和国际化推广的核心。随着北斗卫星部署逐步完成,北斗信号空间段测试已经建立完整的指标体系和测试方法,而在地面应用段面向应用场景的测试理论体系和方法尚不完善。由于导航终端的实际性能与应用场景环境

(下转第 14 页)

- [3] 范静, 王光发, 荆卓寅, 赵东风. 涡扇发动机试车台推力测量与校准技术概述[J]. 计测技术, 2012, 32(5): 1-4.
- [4] Eg-1e Test Cells Committee. SAE - AIR4951 Test Cell Thrust Measurement[S]. Pennsylvania: SAE, 2011.
- [5] 宋江涛, 邓小宝, 魏海涛. 航空发动机试车台推力仿真技术研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(1): 67-70.
- [6] 王润明, 罗毅. 航空发动机推力测量台架支架支撑方式研究[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2013, 26(1): 9-11.
- [7] SAE-ARP741B Turbofan and Turbojet Gas Turbine Engine Test Cell Correlation[S]. Pennsylvania: SAE, 2009.
- [8] FAA. AC43-207 Correlation, Operation, Design, And Modification of Turbofan Jet Engine Test Cells[S]. Washington D C: U. S. Department of Transportation, 2002.
- [9] 吴惠明. 涡喷涡扇发动机试车台推力测量校准现状及展望[J]. 计测技术, 2012, 32(4): 1-4.
- [10] Robert N. Parfitt, Martin R. Turville, Colin A. Whittle. Gas Turbine Measured Thrust Correction: EU, 03250209.8 [P]. 2003.
- [11] Robert N. Parfitt, Martin R. Turville, Maurice C. Bristow, Stephen G. Brown. Thrust correction: EU, 07252104.0 [P]. 2007.
- [12] 尹骥, 张有. 航空发动机矢量推力测量方法简介[C]//中国航空学会第十一届发动机试验与测试技术学术会. 沈阳: 中国航空学会, 2012: 83-87.
- [13] Kin C Wong. NASA/TM-2003-212326 Derivation of the Data Reduction Equations for the Calibration of the Six-Component Thrust Stand in the CE-22 Advanced Nozzle Test Facility [R]. Cleveland, Ohio: Glenn Research Center, 2003.

(上接第 9 页)

密切相关, 而目前国内测试机构进行的真实信号路测存在着样本少、覆盖不全等问题, 尚缺乏覆盖广泛的导航信号测试数据, 同时缺少数据共享的标准与机制, 而支持复杂场景的公共测试数据服务平台是测试领域发展趋势。

基于典型场景数据, 建设标准公共测试数据集及共享平台是当前测试领域发展趋势, 通过向全球所有开发者开放统一典型场景标准测试数据集, 为不同行业的导航终端提供完备、高效的测试条件, 并通过统一的数据采集回放测试规范, 有效地实现导航测试数据的长期积累, 扩充完善测试数据库内容, 为北斗产品设计正确性、测试完备性、公正性以及测试结果一致性提供保障, 为北斗导航技术和相关产品的开发、市场普及和全球化推广提供技术支持, 这也是开展后续技术攻关的出发点和落脚点。

参 考 文 献

- [1] 刘婧. GNSS 接收机测试与评估方法研究[D]. 辽宁: 辽宁工程技术大学, 2013.
- [2] 杨博, 郭淑霞, 刘宁. 基于大型微波暗室的卫星导航接收机测试[C]//第一届中国卫星导航学术年会电子文集. 北京: 中国卫星导航学术年会组委会, 2010.
- [3] Brian Weinstein, Dennis Akos, Eric Vinande, Tianxing Chu. GNSS Receiver Evaluation Record and Playback Test Methods [J]. GPS World, 2009, 17: 23-26.
- [4] Dr. Michael D, Foegelle ETS-Lindgren. White Paper: A-GPS Over The Air Test Method: Business and Technology Implications[R]. State of California: Spirent Communications, 2009.
- [5] 贾超广. 基于卫星信号模拟器的北斗接收机测试方法[C]//第四届中国卫星导航学术年会电子文集. 武汉: 中国卫星导航学术年会组委会, 2013.
- [6] 贾超广, 肖海霞. 基于卫星信号模拟器的北斗接收机性能测试与分析[J]. 导航定位学报, 2013, 1(4): 14-16.
- [7] 冯富元. GPS 信号模拟源及测试技术研究和实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [8] 蔚保国, 甘兴利, 李隽. 国际卫星导航系统测试试验场发展综述[C]//第一届中国卫星导航学术年会电子文集. 北京: 中国卫星导航学术年会组委会, 2010.
- [9] Brian Capt, Bracy L, Wayne Mims. Inverted GPS Range for Modernized GPS Field Testing [C]//ION 58th Annual Meeting. Albuquerque, New Mexico: ION, 2002.
- [10] Günter Heinrichs, Erwin Löhnert, Elmar Wittmann, et al. Opening the GARE Germany's Galileo test and development environment[J]. Inside GNSS, 2007(MAY/JUNE): 16-18.
- [11] 蔚保国, 叶红军, 李隽, 等. 中国伽利略测试场总体及其关键技术研究进展[J]. 数字通信世界, 2012(8): 43-46.
- [12] 张钦娟. 北斗二号民用设备测试方法研究[J]. 现代电信科技, 2012, 15(3): 78-80.