

GNSS 导航卫星抛物面天线系统建设与测试

陈懋霖, 战兴群, 苏先礼, 荆 帅

(上海交通大学 航空航天学院, 上海 200240)

摘要: 导航卫星的信号质量是影响卫星导航系统精度、连续性和可靠性的关键因素, 为实时监测上海地区可见 GNSS 导航卫星的信号质量, 建成了 GNSS 导航卫星抛物面天线系统; 该系统可以对包括北斗导航卫星系统在内的 GNSS 导航卫星的空间信号进行监测, 分析导航卫星空间信号的质量; GNSS 导航卫星抛物面天线系统主要由 3.2m 抛物面伺服跟踪天线、GNSS 信号中频采集器、数据存储装置、监测控制平台以及相关监测设备组成; 介绍了导航卫星抛物面天线系统的建设及其测试情况, 测试结果表明, 所建成的抛物面天线系统可以对观测范围内的各卫星导航系统的各颗卫星的导航信号进行实时信号跟踪与监测, 相关技术指标达到了预期要求。

关键词: GNSS; 信号质量; 抛物面天线; 跟踪监测

Construction and Test of GNSS Navigation Satellite Dish Antenna

Chen Maolin, Zhan Xingqun, Su Xianli, Jing Shuai

(School of Aeronautics & Astronautics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Signal quality of navigation satellite is a significant factor to accuracy, continuity and reliability of satellite navigation system, to monitor the signal quality of GNSS navigation satellites that can be observed in Shanghai, GNSS navigation satellite dish antenna was constructed which can monitor GNSS navigation satellite in-space signal and analyze navigation satellite signal quality. GNSS navigation satellite dish antenna is constituted of 3.2 m parabolic antenna, GNSS signal intermediate frequency sampler, data storage device, control segment and related monitoring instruments. Construction and test conditions of this GNSS navigation satellite dish antenna are introduced, and the test results demonstrate that the GNSS dish antenna can monitor all navigation satellites in view including GPS, BDS, Galileo and GLONASS satellites, and its performance is satisfactory when comparing with design parameters.

Keywords: GNSS; signal quality; dish antenna; monitoring

0 引言

近年来, 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 取得了长足的发展。中国的北斗导航卫星系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 已于 2012 年 12 月 27 日起正式提供区域服务^[1]; 俄罗斯的格洛纳斯导航系统 (GLONASS) 具备了满星座运行的条件; 欧洲的伽利略导航系统 (Galileo) 也发射了 4 颗试验卫星, 验证了该系统的四星定位能力。

目前, 我国相关研究机构已对卫星导航的精度、连续性和可靠性进行了较为深入的研究, 并探讨了增强 GNSS 导航性能的技术手段。伪卫星增强技术^[2]、连续运行参考站技术和星基增强技术等已成为近年来卫星导航领域的研究热点。用于自主产生导航信号的卫星信号模拟器^[3]也取得了长足的发展, 并被广泛运用于接收机的设计和研发过程中。然而, 如何实时监测导航信号的质量仍然是急需解决的问题。

为了保证各卫星导航系统地长期稳定地在轨运行, 各卫星导航服务提供国及其提供商均建立了配套的导航卫星信号质量监测系统^[4]。这些系统中一个最为关键的部分就是抛物面伺服跟踪天线系统, 以实现对各卫星导航系统的卫星进行实时高增益接收, 用于信号实时监测及事后精密分析处理。

美国的 GPS 和欧洲的 Galileo 都已利用抛物面伺服跟踪天线建成了比较完善的导航卫星信号质量监测系统。GPS 在斯坦福大学建立了 GPS 卫星信号质量监测系统, 该系统由两个抛物面天线系统组成, 一个是 47 m 大型抛物面天线系统, 另一个是直径 1.8 m 伺服跟踪天线系统。其中的 47 m 天线系统的天线增益高达 52 dB, 不经过解扩便可直接对信号进行测量, 但该系统必须人工控制, 数据采集周期慢, 无法实现 GPS 导航卫星的全时段实时监测; 1.8 m 天线系统的增益虽然远远小于 47 m 大型抛物面天线系统, 但具有了后者所不具备的自动跟踪功能, 可实现无人化的 GPS 卫星全时段实时监控^[5]。

Galileo 一向非常重视对卫星信号质量的分析, 早在系统建设初期就开展了对信号特征及相关参数的分析, 例如, 在两颗 Galileo 试验卫星 GIOVE-A 和 GIOVE-B 发射之后, 就对卫星信号的接收功率、调制质量等相关参数进行了详尽的分析。现已建成的 Galileo 卫星信号质量监测站主要包括英国 Chilbolton 天文台^[6]和荷兰 Noordwijk 监测站。

以上所介绍的导航卫星信号质量监测系统均位于欧美地区, 且主要用于对 GPS 和 Galileo 卫星的信号质量监测, 鉴于缺少针对 BeiDou 导航卫星的监测系统, 国防科技大学曾经建立了一套 BeiDou 在轨卫星信号质量监测系统, 完成了对北斗、GPS、GLONASS 等卫星信号的时域、频域、调制域、相关域、测量域的信号质量评估, 然后对载波、码相位相干性和信号相关峰等关键指标进行了具体分析比较。

但由于中国地区幅员辽阔, 仅仅建立单一站点进行 GNSS 导航卫星信号质量监测并不能满足中国区域对 GNSS 空间信号

收稿日期: 2014-01-10; 修回日期: 2014-03-10。

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2011AA120503)。

作者简介: 陈懋霖 (1990-), 男, 四川广安人, 硕士研究生, 主要从事导航卫星信号质量监测与分析评估方向的研究。

质量, 特别是 BDS 卫星信号质量的实时监测与评估; 由于中国东西经济发展的不平衡, 大部分需要 GNSS 精密服务的用户位于长三角、珠三角等经济发达地区, 这也要求在中国东部沿海地区建立 GNSS 导航卫星信号质量监测系统。为此, 上海交通大学航空航天学院在校园内建成了 3.2 m 口径的 GNSS 卫星抛物面伺服跟踪天线系统, 并将此天线系统纳入到上海交通大学 GNSS 信号质量监测评估系统的整体框架内, 与其他监测手段和方法共同构成 GNSS 信号质量监测的完整体系。

1 系统搭建

本文建设的 GNSS 导航卫星抛物面天线系统由 3.2 m 抛物面伺服跟踪天线、GNSS 信号中频采集器、数据存储设备、监测控制平台和相关监测设备组成。该系统的整体框架如图 1 所示。

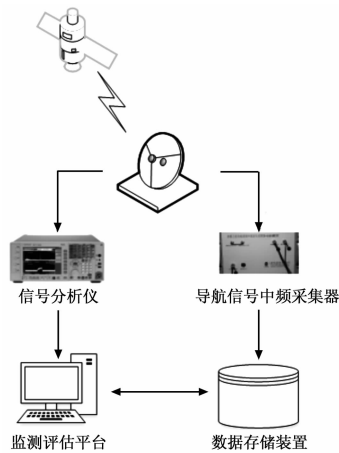


图 1 GNSS 导航卫星抛物面天线系统

其中, 抛物面天线用于实时高增益地接收 GNSS 导航卫星发射的导航信号; 信号分析仪可以对导航卫星的射频信号进行频域、时域和调制域的实时分析和显示, 用于初步探测导航卫星可能出现的信号异常; 同时, 导航信号中频采集器可以对抛物面天线接收的信号下变频至中频, 并以高达 62 MHz 的采样率进行采集; 采集的导航卫星中频信号存储于由两台服务器和外设磁盘阵列所组成的数据存储装置中, 用于事后的精密分析; 监测控制平台是整个监测控制系统的控制中心和数据处理中心, 可控制抛物面天线精确跟踪 GNSS 导航卫星以获取最大的信号强度, 同时可实时接收和监测信号分析仪的分析数据并读取数据存储装置中所存储的导航卫星信号中频数据用以事后精密分析。

GNSS 卫星抛物面伺服跟踪天线主要由天馈分系统、转台分系统、伺服控制分系统、供电分系统和信号传输分系统等部分组成。系统的原理框图如图 2 所示。

天馈分系统中的 3.2 m 波段的的天线可以汇聚天线扇面覆盖范围内的 GNSS 导航卫星信号至馈源, 本文中天线扇面采用了标准抛物面, 馈源采用背射式螺旋结构, 用以高质量低损耗地接收反射汇聚的导航信号。

转台分系统由 Az/EI (方位/俯仰) 转台、伺服电机、减速箱、角度传感器等部件组成。其主要功能是接收伺服控制分系统提供的角度误差信号, 驱动天线指向目标。同时, 输出转台的当前姿态信息给伺服控制分系统, 用以计算当前角度与预设角度的差值。

伺服控制分系统由上位机、伺服控制单元、驱动变频器、

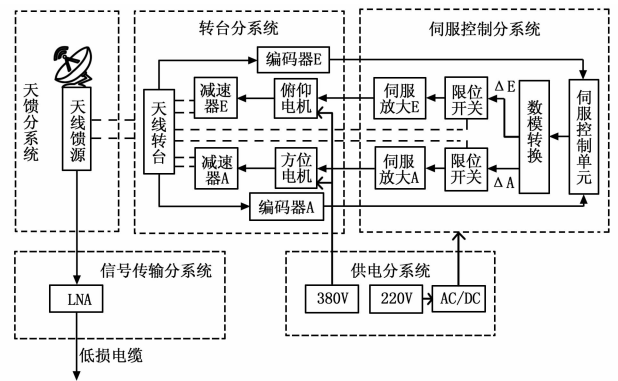


图 2 抛物面天线结构框图

PID 电路等设备组成。其主要功能是根据导航卫星的广播星历计算卫星当前的方位角和俯仰角, 放大角误差信号, 经处理后产生驱动信号传输给驱动电机控制天线始终对准所要观测的 GNSS 导航卫星。

信号传输分系统由低噪声放大器、射频传输电缆、功分器、转接头等组成。其主要功能是将抛物面天线接收的信号进行放大并通过低损电缆传输至信号分析处理中心, 为后段完成数据存储和分析任务提供可靠的射频信号传输链路。

供电分系统为抛物面天线系统提供所需的 220 V 和 380 V 两种交流电, 220 V 交流电主要用于伺服控制分系统, 而方位电机和俯仰电机需要使用 380 V 交流电。在实际的天线安装施工中, 两种交流电进行了物理隔离, 保证了系统的安全和可靠性。不间断电源 (Uninterruptible Power System, UPS) 为伺服控制分系统提供稳定的供电保证, 防止意外断电对脆弱的控制系统造成脉冲电流冲击, 影响控制系统的使用寿命。

目前, 导航卫星信号质量的实时监测并不能完全满足对导航信号的多方面全尺度的分析, 很多参数需要时候处理计算得出; 同时, 为了比较 GNSS 卫星信号质量在不同时期的变化情况, 需要对 GNSS 卫星导航信号进行采集和存储。本文中采用了较为成熟的 GNSS 信号中频采集方案, 对所接收到的导航卫星信号下变频至中频, 再利用中频采集器对中频信号进行高采样率采样。得到的中频采样数据存储于由两台服务器和外设磁盘阵列组成的数据存储装置中。

监测控制平台是 GNSS 卫星抛物面天线控制系统的控制和信息处理中心, 在实时监测模式下, 可实时接收信号分析仪传输的分析结果; 在后处理分析模式下, 可读取数据存储装置中存储的导航卫星信号中频采样数据并利用分析软件进行后处理分析, 分析和探究导致导航卫星信号异常的原因。

2 系统测试

为了验证本文所建设的 GNSS 抛物面天线伺服跟踪系统的可用性, 特别是检验建成的 3.2 m 抛物面天线的各项性能指标, 对系统进行了相关测试工作。相关测试结果及其所对应的设计指标如表 1 所示。

表 1 中的各项实测数据显示, 本文建成的 GNSS 卫星抛物面伺服跟踪天线的各项性能指标符合设计要求, 为进一步验证本系统高增益接收 GNSS 导航卫星信号的能力, 对各个导航卫星系统不同频点的卫星信号进行了跟踪测试。将抛物面天线所接收的导航卫星射频信号直接连接至安捷伦 N9080 信号分析仪, 观察导航卫星各频点的频谱图。

表 1 抛物面天线性能测试结果

序号	分类	项目	设计要求	实测指标
1	静态指标	反射体的直径(m)	2.4	3.2
2		工作频段(MHz)	1 100~1 700	1 100~1 700
3		接收增益	28.8dBi@1 500 MHz	31.3dBi@1 500 MHz
4		3 dB 波束宽度	5.5°@1 200 MHz	4.5°@1 200 MHz
5		极化方式	RHCP	RHCP
6		VSWR(驻波比)	<1.4:1	≤1.38
7	LNA	增益(dB)	≥31	45.7
8		增益平坦度	≤1 dB/40 MHz	0.8 dB/40 MHz
9		噪声温度(K)	<66.8	<60
10	跟踪指标	方位转动范围(°)	0~360	1.52~358.79
11		俯仰转动范围(°)	0~90	3.66~88.085
12		方位角速度(°/s)	≥1.2	2.84
13		俯仰角速度(°/s)	≥1.2	1.22
14		定角精度(°)	≤0.075	0.011, 0.011
15		跟踪精度(相对于星历预报值)(°)	≤0.55	0.076(水平) 0.101(俯仰)

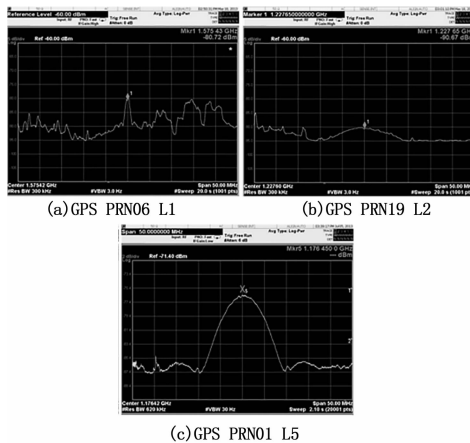


图 3 GPS 卫星信号频谱

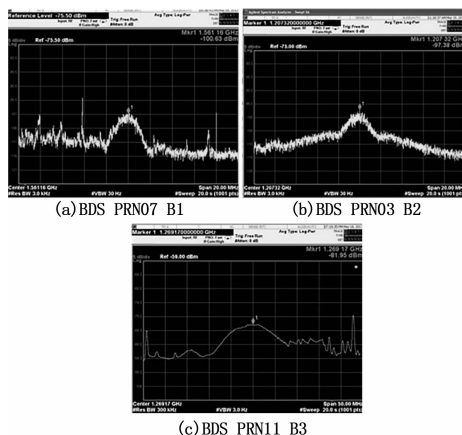


图 4 BDS 卫星信号频谱

实际环境中,由于导航卫星发射的信号功率极低,导航信号通常被淹没在噪声中,其信号频谱不能被信号分析仪所检测。本文中,GNSS 导航信号经过 3.2 m 抛物面天线的高增益接收,将导航卫星信号功率抬升至噪声功率以上,使得导航信号频谱可以直接在信号分析仪中进行观察,验证了本文所建设的 GNSS 导航卫星抛物面天线系统高增益接收导航卫星信号的能力。

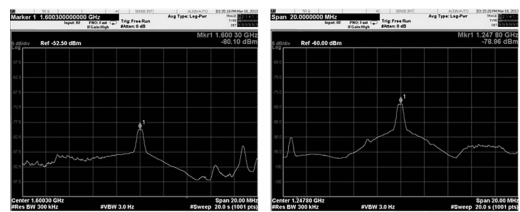
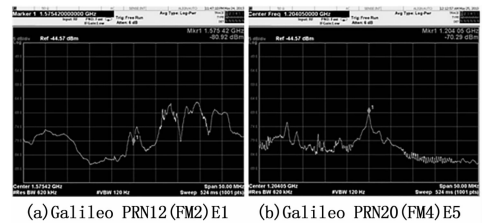


图 5 GLONASS 卫星信号频谱



(a)Galileo PRN12 (FM2) E1 (b)Galileo PRN20 (FM4) E5

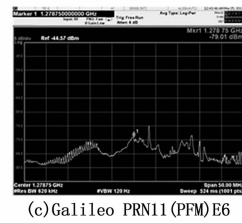


图 6 Galileo 卫星信号频谱

需要注意的是,在部分导航信号频点的频谱图中,可见导航频点附近出现较大的干扰,甚至这些干扰信号的功率会大于所接收的导航信号的功率。测试过程中对干扰信号的来源也进行了初步监测,排除了抛物面天线系统内部产生干扰信号的可能性,干扰信号极大可能来自于地面无线电发射基站所发射的无线电波。下一步将开展对干扰信号的来源进行精确定位并削弱干扰源影响的研究。

3 结论

GNSS 导航卫星抛物面伺服跟踪天线是导航卫星空间信号质量监测的关键设备,用以高增益地接收导航卫星信号。本文对 GNSS 导航卫星抛物面天线系统的设计、建设情况进行了介绍,并对建成的抛物面天线进行了初步测试,测试结果表明,该天线系统达到了预期的设计要求,可以对可见范围内的 GNSS 导航卫星进行跟踪并高增益地接收导航卫星信号。

参考文献:

- [1] 北斗网. “北斗卫星导航系统正式提供区域服务” [EB/OL]. <http://www.BeiDou.gov.cn/2012/12/27/20121227c128f70ecc6f4242b29ebf8601bf0b24.html>.
- [2] 戴超, 战兴群, 徐洪亮, 等. 伪卫星硬件设计及实现 [J]. 计算机测量与控制, 2013, (10): 2820-2822.
- [3] 侯博, 谢杰, 范志良, 等. 多模卫星信号模拟器设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2012, (1): 170-172.
- [4] 欧阳晓凤, 刘文祥, 徐成涛, 等. 北斗卫星导航系统在轨信号质量监测分析 [A]. 第四届中国卫星导航学术年会论文集 [C], 2013: 7.
- [5] Phelts R E, Gao G X, Wong G, et al. Aviation grade: New GPS signals - chips off the block IIF [J]. Inside GNSS, 2010, 5 (5): 36-45.
- [6] Gatti G, Falcone M, Alpe V, et al. GIOVE-B Chilbolton In-Orbit Test: Initial results from the Second Galileo Satellite [J]. Inside GNSS, 2008, 1: 30-35.