

# 利用 GLONASS 频间差改进用户导航定位精度<sup>\* 1</sup>

裴 霄<sup>1,2)</sup> 陈俊平<sup>1)</sup> 王解先<sup>2)</sup>

(1)中国科学院上海天文台,上海 200030  
(2)同济大学测绘与地理信息学院,上海 200092)

**摘 要** 根据 GLONASS 卫星频间差与接收机型号之间的关系,对 GLONASS 卫星频间差进行预报。讨论了引入 GLONASS 卫星频间差的导航定位模型。利用 GLONASS 卫星频间差的预报值选取 IGS 观测站数据进行导航定位的实例解算,计算结果表明引入 GLONASS 卫星频间差预报值可以明显提高导航定位的精度。

**关键词** GLONASS;硬件延迟;系统间硬件延迟偏差;频间差;导航定位

中图分类号:P228.1

文献标识码:A

## IMPROVING USER NAVIGATION PERFORMANCE WITH GLONASS IFDB

Pei Xiao<sup>1,2)</sup>, Chen Junping<sup>1)</sup> and Wang Jiexian<sup>2)</sup>

(1) *Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030*  
(2) *College of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092*

**Abstract** We analyze the correlation between GLONASS IFDB and receiver types and predict GLONASS IFDB based on derived model. By introducing GLONASS IFDB, several tests are performed using observations from several IGS stations. Results show that the navigation accuracy is remarkably improved by adding GLONASS IFDB.

**Key words:** GLONASS; hardware delay; inter system hardware delay bias (ISDB); inter frequency hardware delay bias (IFDB); navigation

## 1 引言

目前,导航定位系统大都基于 GPS 卫星,但在山涧、沟壑以及高楼林立的城市峡谷中行车时会面临可用卫星数目不足的情况,此时引入 GLONASS 卫星可以有效解决这一问题。随之而来的难题是如何将两个系统进行融合,在同一个基准下进行定位。目前 GPS 系统采用码分多址的方式,而 GLONASS 系统采用频分多址方式,不同频率的卫星信号在卫星和接收机中传播造成的硬件延迟会有一定的差异,因此产生了 GPS/GLONASS 系统间硬件延迟偏

差(ISDB)以及 GLONASS 卫星频间差(IFDB)。目前基于 GLONASS 导航定位一般不考虑 GLONASS 频间差的影响,认为接收机对所有 GLONASS 卫星的硬件延迟是相等的,在数据处理中硬件延迟被接收机钟差所吸收。在 GPS/GLONASS 组合导航定位中,由于两个系统之间的硬件延迟偏差 ISDB 较大,而 GLONASS 的频间差 IFDB 较小,因此数据处理过程中一般也不考虑 GLONASS 系统内部的频间差。

GLONASS 卫星频间差和硬件有关,该偏差和接收机类型有着密切的关系。对于不同类型接收机的 GLONASS 卫星频间差,Lambert Wanninger<sup>[1]</sup>计算了

\* 收稿日期:2012-07-09

基金项目:中国科学百人计划项目;上海市科学技术委员会项目(12DZ2273300);国家自然科学基金(40974018,11273046)

作者简介:裴霄,女,1988年生,硕士研究生,主要研究方向为GPS数据处理. Email:pxtoday@hotmail.com

不同仪器的 GLONASS 频间差,指出相邻频率之间的差异为 mm 和 cm 级不等,而相同接收机的频间差则呈现相似聚拢。本文对上海天文台 GNSS 数据分析中心 (SHA)<sup>[2]</sup> 所提供的 8 个月内不同观测站的 GLONASS 卫星硬件延迟进行归类统计,对不同类型接收机的 GLONASS 频间差进行预报,并将其加入到 GLONASS 导航定位以及 GPS/GLONASS 组合导航定位中。计算表明,通过引入 GLONASS 卫星的 IFDB,导航定位的精度得到了显著的提高。

## 2 考虑 GLONASS 频间差的导航定位模型

文献[2]获得的 COCO 站三个月的 GLONASS 硬件延迟序列如图 1 所示。

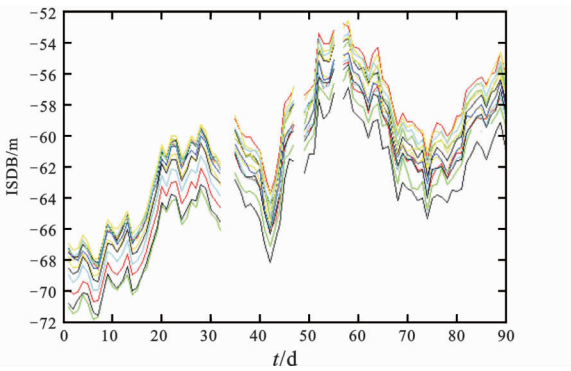


图1 COCO 站 GLONASS 频间差序列 (2011-06-30—2011-09-30)

从图 1 可见,该站在这段时间内的系统间硬件延迟偏差为 50 ~ 70 m,而 GLONASS 频率间偏差的跨度为 5 m 左右(频率识别号最小为 -7,最大为 6),IFDB 明显低于 ISDB 的数量级。对连续 8 个月所有接收机的 GLONASS 硬件延迟进行统计和分析,创建的拟合模型为:

$$dDCB = DCB_i^r - DCB_0^r = IFDB_0 + IFDB_1 \times n \quad (1)$$

式中, $DCB_i^r$  表示第  $i$  颗 GLONASS 卫星的硬件延迟, $DCB_0^r$  表示频率识别号为 0 的 GLONASS 卫星的硬件延迟; $n$  为第  $i$  颗卫星的频率识别号,GLONASS 频间差的常数项和一次项系数为  $IFDB_0$  和  $IFDB_1$ ,该值与接收机类型、天线类型有关。

基于 IFDB 模型,可以对同类的接收机和天线类型的测站 IFDB 根据每颗 GLONASS 卫星的频率识别号进行预报,并将其应用在导航定位中。

GPS 和 GLONASS 伪距非差误差方程式为:

$$P_i = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/i} + \varepsilon(P_i) \quad (2)$$

式中, $dt$  为接收机钟差, $dT$  为卫星钟差, $d_{orb}$  为 GPS 卫星轨道误差, $d_{trop}$  为对流层延迟, $d_{ion/i}$  为电离层延迟, $\varepsilon(P_i)$  为伪距观测噪声和多路径误差。在导航定位中

一般采用双频伪距观测值的无电离层组合来构成观测模型,以消除电离层的影响  $d_{ion/i}$ 。由于伪距定位精度要求不高,故直接采用模型估计对流层延迟,天顶方向层延迟采用 EGNOS 模型进行估计,斜路径延迟采用 NIELL 映射函数。GPS 和 GLONASS 的精密星历是通过分别定轨得到的。其中,GPS 的轨道精度约为 2 cm,GLONASS 的轨道精度约为 5 cm。上海天文台 GNSS 数据分析中心通过 GPS/GLONASS 联合定轨,同时得到了包含 GPS 和 GLONASS 的精密星历和精密卫星钟,其 GPS/GLONASS 轨道、钟差都是基于相同的参考基准<sup>[3]</sup>。利用 SHA 的产品可以消掉卫星钟差  $dT$  和轨道误差项  $d_{trop}$ 。

经过改正后的 GPS/GLONASS 组合导航定位误差方程式如下:

$$\begin{cases} P_{IF}^g = \rho + (cdt + DCB^g) + d_{trop} + \varepsilon \\ P_{IF}^r = \rho + (cdt + DCB_i^r) + d_{trop} + \varepsilon \end{cases} \quad (3)$$

式中,上角标  $g$  和  $r$  分别代表 GPS 和 GLONASS, $P_{IF}$  为无电离层组合的伪距观测值, $\rho$  为真实几何距离, $c$  为光速, $dt$  为测站钟差, $d_{trop}$  为对流层延迟。由于 GPS 卫星采用相同的频率,因此其硬件延迟是相等的,都表示为  $DCB^g$ ,而 GLONASS 卫星由于存在频间差,因此不同的卫星信号所产生的硬件延迟也不同,因此用  $DCB_i^r$  表示不同 GLONASS 卫星信号硬件延迟。

在传统的解算方法中,假设所有卫星的  $DCB_i^r$  相等。令  $cdt^g = cdt + DCB^g$ , $cdt^r = cdt + DCB^r$ ,平差求解后得到  $cdt^g$  和  $cdt^r$ ,两者相减就可以得到系统间硬件延迟偏差 ISDB:

$$ISDB = DCB^g - DCB^r = cdt^g - cdt^r \quad (4)$$

将式(1)带入式(3),得到包含 IFDB 的导航定位模型为:

$$\begin{cases} P_{IF}^g = \rho + (cdt + DCB^g) + d_{trop} + \varepsilon \\ P_{IF}^r = \rho + (cdt + DCB_0^r) + IFDB_0 + IFDB_1 \times n + d_{trop} + \varepsilon \end{cases} \quad (5)$$

由于  $IFDB_0$ 、 $IFDB_1$  已有预报值,设  $cdt^g = cdt + DCB^g$ , $cdt^r = cdt + DCB_0^r$ ,所以在这一改进的组合导航定位模型中只需要解三个坐标未知数以及两个钟差。同理 GLONASS 单系统导航定位模型只需要在组合的基础上减少一个钟差未知数。

## 3 导航定位实例解算

选取 4 个 IGS 观测站 (POTS、CASL、CHUR、AS-PA) 2011 年年积日为 233,时间间隔为 30s 的伪距观测数据进行导航定位解算<sup>[5]</sup>,这 4 个观测站分别安装着不同制造商所生产的接收机,所选测站的接收机和天线信息如表 1。

表 1 测站信息  
Tab. 1 Stations information

测站	接收机型号	天线型号
POTS	JAVAD TRE_G3TH DELTA	JAV_RINGANT_G3T
CASL	LEICA GRX1200GGPRO	AOAD/M_T
CHUR	TPS NET-G3A	ASH701945E_M
ASPA	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00

实例计算分两类:GLONASS 导航定位和 GPS/GLONASS 组合导航定位。每种导航定位又分三种策略:

- 1)不考虑 GLONSS 卫星频间差的影响;
- 2)引入 SHA 提供的对应测站的 GLONASS 硬件延迟;
- 3)引入对应接收机类型的 GLONASS 卫星频间差预报值。

3.1 GLONASS 导航定位

由于导航定位采用的是伪距观测值,其观测精度很低,对定位精度要求也不高,因此传统的方法都不考虑 GLONASS 卫星频间差的影响,认为所有 GLONASS 卫星的硬件延迟是相同的。为了研究这一微小的差异对导航定位精度的影响,选取上述 4 个测站的数据分别利用上述三种策略进行解算,所得定位结果的三维精度及其提高率如表 2 所示。

表 2 GLONASS 导航定位三维精度及提高率  
Tab. 2 Coordinates precision and increase rate in GLONASS pseudorange positioning

测站	无频间差 均方根(m)	引入预报值		引入 SHA 频间差	
		均方根 (m)	提高率 (%)	均方根 (m)	提高率 (%)
CHUR	7.60	5.84	23.19	3.40	55.28
ASPA	4.29	3.60	16.09	3.30	22.99
CASL	2.99	1.90	36.29	1.77	40.87
POTS	2.39	2.29	4.11	1.89	20.79

从表 2 可以看出,对于四种不同类型的接收机采用三种策略进行 GLONASS 导航定位其结果基本一致:不考虑 GLONASS 频间差的方式精度最低,直接引入 SHA 提供的 GLONASS 卫星硬件延迟精度最高,而引入 IFDB 预报值进行解算的精度介于两者之间。POTS、CASL 两个站的导航定位精度基本在 3 m以内,明显优于 CHUR 与 ASPA 这两个测站,这是由不同的 GDOP 所造成的。在计算过程中,ASPA 站的观测条件很差,不少历元因为可用 GLONASS

卫星数目不足而无解。

另外比较对 POTS 站采用三种方式解算的结果发现其精度提高不是很明显,而另外三个测站却在引入 GLONASS 频间差后精度得到了明显的提高,这是由于不同类型的接收机对频间差的敏感度不同。LEICA、JPS、TRIMBLE、JAVAD、TPS 是全球 IGS 站最常用的几家接收机生产商,比较这几种接收机的 IFDB 预报值发现,JAVAD 以及配备了 ASHTECH 天线的 JPS 接收机对频间差不是很敏感,而 LEICA、TRIMBLE、TPS 的接收机对频间差比较敏感。

3.2 GPS/GLONASS 组合导航定位

使用更多的卫星资源可以改善系统的可用性、可靠性和定位精度<sup>[6,7]</sup>。由于 GPS 与 GLONASS 卫星所占用的频率不同,其差异远远大于 GLONASS 系统内各卫星间的频率差异,因此传统的组合导航定位可以忽略 GLONASS 系统内的频间差,但是无法忽略 GPS 与 GLONASS 系统之间的硬件延迟偏差,这一偏差一般反映在接收机钟差上,所以在解算时要给定两个接收机钟差参数:GPS 接收机钟差与 GLONASS 接收机钟差。为了分析 GLONASS 频间差对组合导航定位精度的影响,同样选 4 个测站同一天的观测数据,用三种策略进行解算,所得三维精度及其提高率如表 3 所示。

表 3 GPS/GLONASS 组合导航定位三维精度及提高率  
Tab. 3 Coordinates precision and increase rate in GPS/GLONASS combined pseudorange positioning

测站	无频间差 均方根(m)	引入预报值		引入 SHA 频间差	
		均方根 (m)	提高率 (%)	均方根 (m)	提高率 (%)
CHUR	2.99	2.42	19.17	1.89	36.75
ASPA	2.62	2.41	8.18	2.31	11.85
CASL	2.34	1.75	25.12	1.65	29.56
POTS	1.74	1.71	1.43	1.58	9.08

比较表 2 和表 3 可以看出,组合导航定位比单独 GLONASS 导航定位在精度上有明显提高。与 GLONASS 单系统导航定位相同的是不考虑 GLONASS 频间差的策略精度最低,直接引入 SHA 提供的 GLONASS 卫星硬件延迟偏差精度最高,引入预报值进行解算的精度介于两者之间,POTS 站采用三种策略解算的定位精度差异依旧不如其他三个测站明显。可见接收机对 GLONASS 频间差越敏感,传统的不考虑 GLONASS 频间差的导航定位方式精度就越差,引入 GLONASS 频间差的作用也就越大。

4 总结

给出了一种 GLONASS 硬件延迟的拟合模型,并选取 4 种不同接收机类型的测站数据进行 GLONASS 导航定位以及 GPS/GLONASS 组合导航定位解算。计算结果表明,在导航定位中考虑 GLONASS 频间差能有效得提高定位精度,对于不同类型的接收机提高程度不同。

参 考 文 献

1 Lambert Wanninger. Carrier-phase inter-frequency biases of GLONASS receivers [J]. Journal of Geodesy, 2012, 86 ( 2 ):139 – 148, DOI: 10.1007/s00190 – 011 – 0502 – y.  
2 Shanghai Observatory GNSS Analysis Center[DB/OL]. http://www.shao.ac.cn/shao\_gnss\_ac.  
3 Chen Junping and Wu Bin. SHA:the GNSS analysis centerat

SHAO[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012, 160(2):213 – 221, DOI: 10.1007/978 – 3 – 642 – 29175 – 3\_19.  
4 Pei Xiao and Chen Junping. Application of inter-system hardware delay bias in GPS/GLONASS PPP[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012, 160(2):381 – 387, DOI: 10.1007/978 – 3 – 642 – 29175 – 3\_34.  
5 ICS[DB/OL]. http://igsch.jpl.nasa.gov/.  
6 Li Xingxing, Zhang Xiaohong and Guo Fei. Study on precise point positioning based on combined GPS and GLONASS [A]. Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation [C]. Savannah, GA, September 2009, 2 449 – 2 459.  
7 Cai Changsheng and Gao Yang. Precise point postioning using combined GPS and GLONASS observations[J]. Journal of Global Positioning Systems, 2007, (6):13 – 22.

(上接第 96 页)

4 文学东,等. 基于 Geodatabase 的 CAD 到 ArcGIS 数据入库研究[J]. 测绘科学,2006,31(6):100 – 102. ( Wen Xuedong, et al. Study on the transition from CAD to ARCGIS Database based on Geodatabase[J]. Science of Surveying and Mapping,2006,31(6):100 – 102)  
5 周张琪,彭明军. CAD 到 GIS 的批量转换方法比较及其基于 ArcEngine 的实现 [J]. 测绘科学, 2010, 35 ( 5 ): 161 – 163,230. ( Zhou Zhangqi and Peng Mingjun. Comparison of methods on batch-conversion from CAD to GIS and its realization based on ArcEngine[J]. Science of Surveying and Mapping,2010,35(5):161 – 163,230)  
6 范志坚,付蓉. 不同时期 1:10000 DLG 入库数据的处理 [J]. 测绘通报,2011, (11):41 – 43,73. ( Fan Zhijian and Fu Rong. Data processing of 1:10 000 DLG at different times for database[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2011, (11):41 – 43,73)  
7 邹时林,谢刚生,李大军. 地理要素编码在 GIS 数据转换中的应用[J]. 测绘通报,2007, (5):22 – 25. ( Zou Shilin,

Xie Gangsheng and Li Dajun. Application of geographic elements code in GIS data transformation[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007, (5):22 – 25)  
8 张雪英,闫国年. 基于语义的地理信息分类体系对比分析 [J]. 遥感学报,2008,12(1):9 – 14. ( Zhang Xueying and Lu Guonian. Comparison analysis on semantic-based geographic classification schemes [J]. Journal of Remote Sensing,2008,12(1):9 – 14)  
9 GB/T 13923 – 2006 基础地理信息要素分类与代码[S]. 国家测绘局管理信息中心,2006 – 10. ( GB/T 13923—2006 specification for feature classification and codes of fundamental geographic information [S]. The State Bureau of Surveying and Mapping Management Information Center, 2006 – 10)  
10 曾宪珪,徐昌荣. 基于 AutoCAD 的数字地形图属性数据组织方案[J]. 测绘通报,2005, (2):29 – 31. ( Zeng Xiangui and Xu Changrong. An autoCAD based organization scheme for attribute data of digital topomap[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2005, (2):29 – 31)