

GNSS 时差及其在多系统组合定位中的应用

GNSS Time Offset and Effects on Multi-GNSS Positioning Performance

田力¹, 陈俊平², 裴霄^{2,3}, 余伟^{2,3}

1 测绘科学出版社

2 中国科学院上海天文台 上海 200030

3 同济大学测绘与地理信息学院 上海 200092

【摘要】 随着卫星导航系统的发展以及不断升级,越来越多的GNSS测站开始配备多模GNSS接收机。多模接收机的应用能够跟踪更多的GNSS卫星,从而改善观测几何条件,提高定位的精度和可靠性。另一方面,不同GNSS导航系统采用不同的系统时间定义,存在着系统时差。从而多模GNSS接收机对于不同导航系统卫星的观测值存在着相应的偏差。为实现GNSS系统的兼容与互操作,各个GNSS导航系统目前都提出了系统时差监测的要求。基于此,本文研究了GNSS系统时差的监测及其在多模定位中的应用。文章的第一部分介绍了目前导航系统时差监测的几种方法;文章第二部分分析GPS/GLONASS系统时差以及相对硬件延迟的特性;文章的第三部分将GPS/GLONASS系统时差应用到多模用户导航定位,详细讨论了GPS/GLONASS时差以及测站硬件延迟对导航定位的影响。

【关键词】 GNSS, SHA, 定轨定位, 数据分析中心, GNSS时差

基金项目 中科院百人计划资助;上海市科学技术委员会资助,课题编号12DZ2273300;国家自然科学基金(40974018, 11273046)。

1 引言

随着GPS、GLONASS导航系统的不断完善和更新以及伽利略、北斗等系统的逐步建立,GNSS应用步入了多GNSS系统组合的新时代。能够兼容多个导航系统的接收机必然成为接收机硬件发展的趋势。为了实现多系统的兼容与互操作,各个导航系统之间的时差测量成为各导航一项重要服务。

对多个卫星系统的观测,增加了可见卫星的个数,增加了观测个数。这对用户定位来讲,无疑可以提高定位的精度。然而,不同卫星系统之间存在偏差,在组合定位中需要考虑该偏差。如果把该偏差作为参数解算,则降低了解算结果的精度(尤其是在可见卫星不多的情况下)。GPS系统与GLONASS系统时间之间的差异即为GPS/GLONASS系统时差。对于导航定位用户来讲,倘若能获得到不同系统之间的系统偏差,就能够简化多模导航定位的算法与数据处理,从而提高服务精度与水平。实际应用中,系统时差与接收机以及卫星上的各种硬件延迟紧密相关。相同的硬件延迟会被接收机钟差所吸收,因此会影响授时的精度,但对导航定位的结果不会产生影响。但是,有些偏差对于不同导航系统存在着差别,必须在多模导航中对其加以考虑。本文介绍了目前GNSS时差监测采用的一些主要方法,利用上海天文台GNSS全球数据分析中心SHA所提供的GPS/GLONASS时差和相对硬件延迟分析了其特性,最后用两个算例介绍了系统时差以及相对硬件延迟在多模导航定位中的应用。

2 导航系统时差监测方法

目前采用的导航系统时差监测方法主要有以下两种^{[1][2][3]}:

- 双向卫星时间和频率传递(TWSTFT)、卫星共视
- 地面接收空间信号、伪距相位解算

其中,第一种方法需要在各个导航系统的主控站或时间监测站上进行。首先利用TWSTFT方法获得每

个导航系统主控站/监测站上的时差 (UTC)。在此基础上, 考虑主控站/监测站本身与该导航系统时间的时差。综合这两种计算的结果, 就能够得到系统时差 $TO1$:

$$TO = [UTC(k) - UTC(i)] - \{[UTC(k) - GPST] - [UTC(i) - GLONASS]\} \quad (1)$$

式中, k 表示GPS系统的监测站, i 表示GLONASS系统的监测站。

第二种方法是基于地面多模接收机进行解算的方法。实际计算中也有两种策略:

1)、在GPS主控站或监测站上安装GLONASS接收机, 或者在GLONASS主控站或监测站上安装GPS接收机

每个导航系统的主控站/监测站上都安装有高精度、高稳定度的原子钟, 能够监测测站本身UTC与系统时间的差值, 如果在此站上安装另外一个导航系统的接收机, 则能够同时也获得基于该导航系统观测的时差。将两种系统获得的测站时差进行比对就能得到系统时差 $TO2$, 例如在美国海军天文台(USNO)上安装GLONASS接收机, 则GPS/GLONASS时差可以表示为:

$$TO = [UTC(USNO) - GLONASS] + [GPST - UTC(USNO)] \quad (2)$$

2)、利用多站、多模观测网络以及广播星历卫星钟差

处理多模观测数据需要先固定一个时间基准, 然后求得其它所有钟相对于该基准的相对钟差, 在计算的同时, 解算出每个多模观测站对不同系统/卫星的硬件延迟之差。通过这样的数据处理方式就可以将所有GLONASS卫星钟差的基准归算到GPS的时间基准之下。将这一方式所得的GLONASS卫星钟差与其自身系统下所得的钟差作比较就可以得到系统时差 $TO3$:

$$TO = Median\{[CLK^R - GPST] - [CLK^R(BRD) - GLONASS]\} \quad (3)$$

通过上述多模数据整体处理, 除了求得导航卫星轨道和钟差参数之外, 还必须求取每个测站对不同系统/卫星的硬件延迟差异, 即相对硬件延迟。相对硬件延迟也可以作为多模导航定位的输入量提供给用户。

3 GPS/GLONASS系统时差

为实现导航系统的时差监测, 给用户提供统一的轨道以及钟差产品, 上海天文台正在发展GNSS全球数据处理系统, 实现了GNSS数据自动处理的功能^{[4][5][6]}。上海天文台采用了IGS网络大约110个测站的观测数据, 其中有50个左右的测站上配备有GPS/GLONASS双模接收机。基于以上观测网络和数据处理平台, 整体处理GPS/GLONASS观测数据, 基于(3)式能够监测、解算得到GPS/GLONASS的系统时差和相对硬件延迟。下图绘出了SHA, 国际上IAC(俄罗斯)、ESX(欧空局)、EMX(加拿大)等分析中心所估计的GPS/GLONASS系统时差以及从广播星历中得到的系统时差(未扣除UTC(UNSO), UTC(SU)之间的差值), 从图中可以看出几种结果基本一致, 存在很好的一致性。

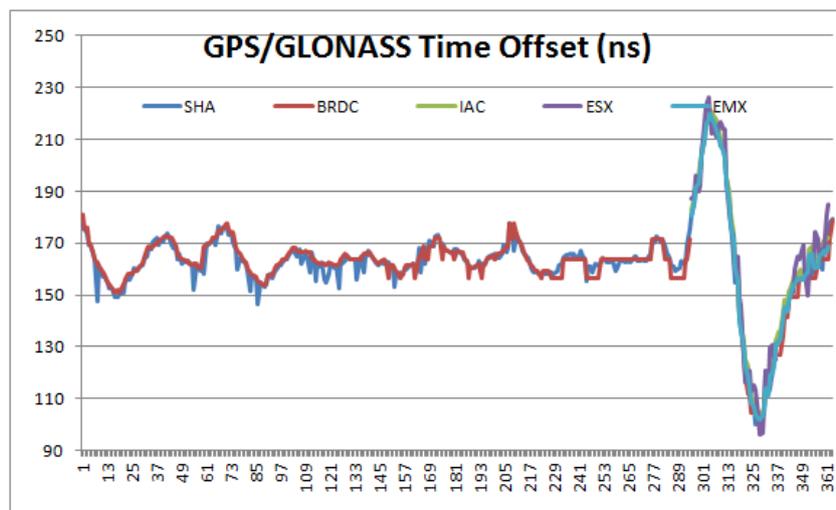


图1 GPS/GLONASS时差

处理单系统数据的过程中, 一般不去解算硬件延迟, 因为该偏差会被钟差参数或者模糊度参数所吸收。

但是在处理多模观测值时，由于接收机硬件以及卫星频率的差异，因此测站对不同系统/卫星的硬件延迟也不同，因此需要在解算系统时差的同时，还需要解算每个测站对于不同GLONASS卫星存在的相对硬件延迟(相对于GPS系统的硬件延迟)。下图列出了上海天文台佘山站(SHAO)上GLONASS卫星R01相对硬件延迟的变化情况。

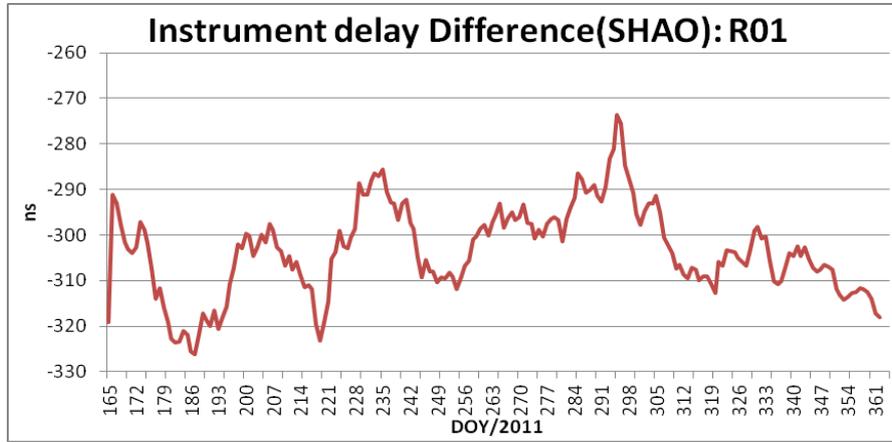


图2 上海天文台佘山站上，GLONASS卫星R01相对于GPS系统的硬件延迟

5 系统偏差在多模导航定位的应用

随着GLONASS系统的不断完善，GLONASS定位以及多模定位技术也日趋成熟^{[7][8]}。由于硬件延迟偏差的存在，使每个历元需要增加一个未知数，这对动态导航增加了一个很大的约束，在某些场合，如城市峡谷、露天矿区、山涧、峡谷、沟壑等地区，可见卫星的数量成为了制约其定位精度的关键因素。通过分析上海天文台GNSS数据分析中心的长期计算结果可以发现对于每个测站每颗GLONASS卫星的硬件延迟偏差(相对于GPS)变化十分平稳，一天内基本保持不变，因此可以将之前的硬件延迟解算值作为已知值带入到当前历元中^[9]。

利用2011年9月1日graz站的观测数据^[10]，分四种策略进行伪距导航定位计算：

- (1) 单独GPS系统
- (2) 单独GLONASS系统
- (3) GPS/GLONASS组合导航(引入上海天文台GNSS数据分析中心提供的系统时差)
- (4) GPS/GLONASS组合导航定位(引入上海天文台GNSS数据分析中心提供的相对硬件延迟)

其计算结果如图3所示：

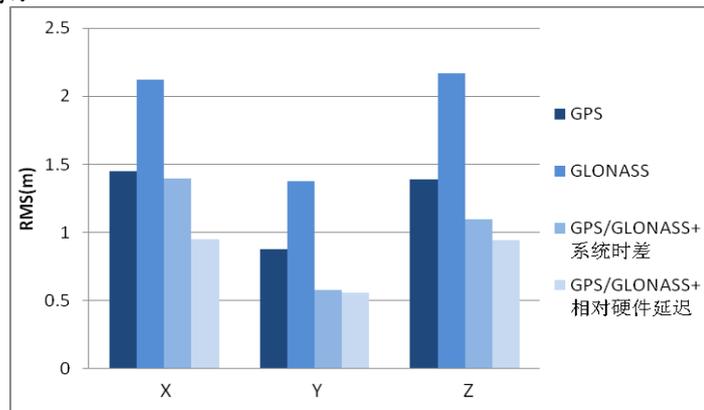


图3 不同策略下的导航定位精度

图3的结果表明，单独GPS系统定位结果略优于单独GLONASS系统，而引入系统时差的GPS/GLONASS组合定位精度明显优于单系统，在组合导航定位的基础上再加入由上海天文台GNSS数据分析中心提供的

相对硬件延迟后定位精度最佳。

在以上分析的基础上，模拟卫星数目较少的观测条件，分别比较直接进行GPS/GLONASS组合定位与引入之前解算得的硬件偏差当做已知值进行定位这两种方式的定位结果。观测数据同样选取2011年9月1日IGS观测站pots的伪距观测值。

两次模拟的观测条件分别为：

(1) 4颗GPS卫星+1颗GLONASS卫星

(2) 3颗GPS卫星+1颗GLONASS卫星

计算结果如下：

表 1: 模拟观测条件下的计算结果

| 选用卫星 | 采用方法 | RMS X/m | RMS Y/m | RMS Z/m | 无解历元数 |
|-------|---------|---------|---------|---------|-------|
| R1+G4 | 引入硬件延迟 | 6.81 | 3.12 | 6.27 | 0 |
| | 不引入硬件延迟 | 16.02 | 7.61 | 17.12 | 26 |
| R2+G3 | 引入硬件延迟 | 4.77 | 3.06 | 5.21 | 0 |
| | 不引入硬件延迟 | 11.40 | 12.36 | 24.56 | 34 |

在GPS/GLONASS组合导航定位中，如果不引入已知的硬件延迟偏差，那么每个历元将有5个未知数（3个坐标，1个测站钟差，1个硬件延迟偏差），因此如表1所示，无论是R1+G4还是R2+G3的搭配，总卫星数只有5颗时，直接进行解算的定位结果很差。由于卫星的GDOP太大，导致在一天2880个历元中分别有27和32个历元无解。而引入已知的硬件延迟偏差后情况有了很大改善，每个历元的未知数降为4个（3个坐标，1个测站钟差），无解历元数分别降为0，X、Y、Z方向的RMS值也明显低于直接进行组合导航定位的结果。由此可见，当可用卫星数目较少时，引入硬件延迟偏差可以提高增加过于观测数，从而提高定位精度。

6 总结

本文介绍了目前多系统时差监测的一些常用方法，介绍了上海天文台GNSS全球数据分析中心（SHA）所提供的GPS/GLONASS系统时差参数以及相对硬件延迟参数。最后利用SHA提供的系统时差以及相对硬件延迟产品进行了导航定位实例解算。结果表明，SHA所提供的GPS/GLONASS系统时差参数相对比较稳定，这一方面反映了上海天文台GNSS全球数据分析中心所提供产品的精度比较高，另一方面也说明GPS以及GLONASS系统的系统时间是比较稳定的。最后通过实例解算表明在导航定位时采用SHA提供的系统时差以及相对硬件延迟产品，可以减少导航用户的必要观测数，同时增加了多余观测值，从而提高了卫星导航定位的可靠性、完好性和连续性。

References (参考文献)

- [1] J. Hahn and E. Powers. Implementation of the GPS to Galileo Time Offset (GGTO). Proceedings of the 2005 Joint IEEE International Frequency Control Symposium and Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, 29-31 August 2005, Vancouver, Canada (IEEE 05CH37664C), pp. 33-212.
- [2] J. Hahn, E. Powers. A Report on GPS and Galileo Time Offset Coordination Efforts. Proceedings of the TimeNav 07 Meeting, May 2007, Geneva, Switzerland
- [3] C. Hegarty, E. Powers and B. Fonville. Accounting for Timing Biases between GPS, Modernized GPS, and Galileo Signals. Proceedings of the 36th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, 7-9 December 2004, Washington, D.C.
- [4] 王解先,陈俊平. GPS精密定位软件研制与应用[J].同济大学学报(自然科学版), 2011,39(5):764-767.
- [5] Shanghai Observatory GNSS Analysis Center: www.shao.ac.cn/shao_gnss_ac. 上海天文台GNSS数据分析中

心.

- [6] Junping Chen, Bin Wu. SHA: The GNSS Analysis Center at SHAO. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012, 160(2): 213-221, DOI: 10.1007/978-3-642-29175-3_19
- [7] 高星伟,葛茂荣.GPS/GLONASS 单点定位的数据处理[J].测绘通报,1999(4):8-9.
- [8] 任锴,杨力,黄建.GLONASS 单点定位及精度分析[J].测绘通报,2008,(11):4-6.
- [9] Xiao Pei, Junping Chen. Application of Inter-system Hardware Delay Bias in GPS/GLONASS PPP. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012, 160(2): 381-387, DOI: 10.1007/978-3-642-29175-3_34
- [10] IGS. (2011). <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>