

Precise GNSS Timing Bias Estimation Based on Single Multi-GNSS Station

Junping Chen¹, Yize Zhang^{1,2}, Yuting Lin³, Bin Wu¹

1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Science, Shanghai, China

2. College of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai, China

3. Beijing Global Information Development Center

1. junping@shao.ac.cn

Abstract: To derive the timing bias, i.e. time offset between different satellite systems, hardware delay has to be measured. The GNSS receiver calibration is a complicated and environment demanding task, which is normally not performed for geodetic GNSS receivers. To overcome this problem, we present a new method for timing bias estimation at single station. Instead of calibrating, the hardware delay of the receiver is cancelled out in our approach. The first part of the paper reviews approaches for GNSS time bias estimation. In the second part, we introduce the new approach in detail. The last part of the paper describes software system developed and shows recent results.

Keywords: GNSS, SHA, GNSS Timing bias, Hardware delay

一种单站多卫星系统时差监测的新方法

陈俊平¹, 张益泽^{1,2}, 蔺玉亭³, 吴斌¹

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

3. 北京环球信息开发中心, 北京, 100094

1. junping@shao.ac.cn

【摘要】系统时差目前一般只能在时间实验室采用标校过的GNSS接收机进行获取。论文首次提出了一种新的单站时差监测方法, 基于该方法设备时延不需要进行标校, 而是得到了消除。文章的第一部分总结、分析了目前GNSS时差监测主要的方法; 文章的第二部分详细阐述了本文提出的新方法; 文章第三部分介绍了单站多卫星系统时差监测数据处理流程; 文章最后给出了单站多卫星系统时差监测的结果, 并与其它方法求得的结果进行了比较验证。

【关键词】GNSS, SHA, 系统时差, 设备时延

1 引言

作为多系统的兼容与互操作的保障, 各个导航系统之间的时差测量与预报已成为各个导航定位系统控制部分的一项重要业务。GPS的系统时间为GPST, 其在1980年1月6日零时被设置成与UTC完全一致, 而后GPST不受跳秒的影响, GPST与TAI之差是一个常数(19秒); GPST的实现以及维持是基于地面原子钟组与星钟组合而成的纸面钟^[1], 并

在监测站对GPST与UTC(USNO)的时差进行监测。GLONASS的时间基准为莫斯科时间(即UTC(SU)+3小时), GLONASS以中央同步器时间为基础产生, GLONASS存在与UTC一致的跳秒, 与UTC(SU)的差别不超过1毫秒^[2]。Galileo的系统时间为GST, 其基准与GPST一致, 与TAI差19秒, 没有跳秒, 并且通过2套精密时统设施(PTF, Precise Timing Facilities)各自的钟组进行时间的维持^[3]。北斗的时间基准为BDT, 由北斗主控站的原子钟组定义, 其在2006年1月1日零时被设置成与UTC完全一致, 其后不受跳秒的影响, BDT

资助信息: 中科院百人计划; 国家高技术研究发展计划(863计划, 2013AA122402); 国家自然科学基金(11273046, 40974018)。

与TAI之差为常数33秒^[4]。定义时间起点后，导航卫星系统系统时间依靠各自的时频系统进行维持。

国际GNSS服务组织已于2012年2月份开始IGS M-GEX(IGS Multi-GNSS Experiment)会战，越来越多的测站上配备了多模接收机，能够跟踪包括GPS，GLONASS，北斗，Galileo，QZSS等系统的信号。不同卫星导航系统的时空基准通过空间信号传递，形成观测数据在测站坐标以及钟差上得到实现。从而，通过多模测站对多系统的观测能够求得不同系统的时间偏差。然而，由于多模接收机对不同卫星导航系统存在的不一致的设备时延，系统时差的获取要求扣除设备时延的影响。传统的设备时延需要通过复杂的标校流程以及苛刻的标校场地，而绝大部分的GNSS接收机没有进行标校。

通常的时差监测可以通过双向时间比对的方法^[5]以及采用连接系统时间的授时型接收机进行共视、全视以及PPP解算时差的方法^[6-8]。然而采用以上方法进行绝对时差的获取需要对观测中经过的各种链路进行精确标校。时延测量最为复杂的是设备时延的测量，其延迟包含信号从接收天线到观测数据生成或者1PPS数据输出的所有链路。设备时延的测量对系统的环境、设备要求很高，流程也很复杂。并且由于实际观测所处的环境与标校场地存在差异，设备时延存在变化。从而，采用以上常用方法进行时差监测一般只能在时间实验室或者系统主控站进行。针对以上设备时延的问题，本文提出了一种简单有效的单站时差监测的新方法：该方法利用了上海天文台GNSS数据分析中心日常GPS/GLONASS综合数据处理得到的GLONASS精密钟差，结合国际GNSS服务组织(IGS)其他分析中心以及GLONASS广播星历的钟差，消除设备时延的影响。论文首先介绍了基于空间信号观测时差监测的方法；在此基础上第三部分详细介绍了单站时差监测的新方法；第四部分采用大量IGS测站的数据对北斗、GPS、GLONASS的时差进行了计算。

2 基于空间信号观测的时差监测方法

GPS/GLONASS系统的时差定义为GPS系统时间与GLONASS系统时间的差异。而实际上一方面系统时间不是一个物理的钟可以直接进行量测，另一方面各个系统主钟之间可能存在无法直接建立比对链路的情况。因此，一般无法直接通过对主钟的比对获取系统时差。对于导航系统来讲，卫星向地面站（包括监测站）发射微波信号，用户接收后形成星地之间的观测，从而将导航系统的地面部分（测站钟差）和空间部分（卫星钟差）统一到系统的时间基准之中。从而在选定的系统时间基准下，测站以及卫星的钟差都是相对于该系统时间的差值。时间基准的差异也将造成测站以及卫星钟差的不同，因此可以通过监测不同时间基准下的地面测站以及空中卫星的钟差进行时差监测。主要实现方法包括（以北斗/GPS时差监测为例）：

2.1 北斗主控站安装GPS接收机（或者GPS主控站安装北斗接收机）

导航系统的主控站都接有高精度、高稳定度的原子钟，能够监测测站本身与系统时间的差值。如果北斗系统时间的原子钟同时连接GPS接收机，获取GPS观测数据。则此时的观测数据包含了观测的几何距离、系统时差以及接收机的设备时延。在扣除几何距离（通过精密或者广播的卫星轨道以及测站精确坐标进行计算）以及设备时延（需要专用设备以及环境）之后，即可获取系统时差。

从而采用这种方法一方面要求接收机具备接入原子钟1 PPS以及频率信号的功能，而目前绝大多数的接收机不满足这个要求；另外，还需要对该接收机进行绝对的标校，这更加增加了这种方法应用的难度。

2.2 利用多站、多模观测网络求取时差

多导航系统(例如GPS+GLONASS)的整体处理时，处理的流程如下：采用一定数量的观测台站，将其中一个外接原子钟的测站钟差固定，求取其它所有钟相对该原子钟的钟差；将在此原子钟基准下对求得的GPS卫

星钟差与GPS广播星历(GPST的实现)进行归算,得到其它所有钟在GPST下的钟差;将求得的GPST基准下GLONASS的卫星钟差与GLONASS广播星历中播发的钟差进行比较,即可得到系统时差。由于GPS、GLONASS卫星信号分别基于不同的时间基准,并且多模接收机接收GPS以及GLONASS卫星存在不同的通道时延,因此在以上解算过程中,需要估计每个多模观测站上不同频率GLONASS卫星相对GPS卫星的延迟参数(包含系统时差以及通道时延)。此外,观测台站的个数取决于是否估计卫星轨道,估计轨道的情况下需要全球分布约40个测站就能够保证优于5cm的轨道精度以及相当精度的钟差产品;目前GPS的预报轨道精度也达到了预报一天好于10cm的量级,在直接采用预报轨道的情况下,观测台站的数量只需要保证卫星能够被两个以上的测站观测到就可以(全球10~20个测站就能满足要求)。以上方法获取时差公式可以表示为:

$$TO = Median \left\{ \begin{array}{l} [Clk^R - GPST] - \\ [Clk^R(BRD) - GLONASST] \end{array} \right\} \quad (1)$$

其中 Clk^R 为通过以上处理得到的GPST基准下的GLONASS卫星钟差, $Clk^R(BRD)$ 为GLONASS广播星历中(可以看作GLONASST)的卫星钟差。 TO 为系统时差,可取为不同卫星时差的中值。以上方法从GNSS观测数据出发,在处理过程中采用时间基准统一的方法获得系统时差,对实验条件和仪器硬件几乎没有要求。系统时差是在GNSS数据处理过程中获得的,但这种方法处理过程中的数据量和计算量非常大,对软件和软件平台有很高的要求。

3 单站时差监测新方法

3.1 基于GLONASST的测站钟差计算

如上所述,测站钟差是接收机钟相对于一定基准的差值。因此基准的改变将等量地反映在测站钟差中。目前GLONASS播发的广播星历中的卫星钟差是以在GLONASST为基准的。对于GLONASS观测数据,若固定站坐

标,利用GLONASS广播星历,采用相位平滑伪距,可以实时得到较为准确的接收机钟差。实际上,该接收机钟差还包含GLONASS信号的硬件延迟,因此其表达式为:

$$Clk_{BRD} = Clk_{GLONASST} + HD_{GLONASS} \quad (2)$$

上式中, Clk_{BRD} 为利用GLONASS广播星历计算得到的包含通道延迟的接收机钟差, $Clk_{GLONASST}$ 为接收机在GLONASST下的接收机钟差, $HD_{GLONASS}$ 为GLONASS卫星信号的通道延迟。

3.2 基于GPST的测站钟差计算

采用2.2中介绍的方法,在GNSS数据处理时,以GPS广播星历为基准,将整体解算得到的GNSS卫星和测站钟差归算至GPST,这样得到的GLONASS卫星钟差实际上是GPST下的。目前,IGS分析中心中的GFZ,EMR以及上海天文台GNSS数据分析中心(SHA)发布的精密GLONASS产品采用了以上计算方法[9-11]。

若采用SHA发布的GLONASS精密星历,则计算的测站钟差可表示为:

$$Clk_{SHA} = Clk_{GPST} + HD_{GLONASS} \quad (3)$$

上式中, Clk_{SHA} 为利用SHA精密星历计算得到的包含通道延迟的接收机钟差, Clk_{GPST} 为该接收机在GPST下的接收机钟差。

由式(2)和式(3),可以得到GPS/GLONASS系统时差,即:

$$\begin{aligned} TO &= [Clk_{GLONASST} + HD_{GLONASS}] - \\ &[Clk_{GLONASST} + HD_{GLONASS}] \quad (4) \\ &= Clk_{BRD} - Clk_{SHA} \end{aligned}$$

这种单站时差监测的方法原理简单,也很容易实现。其接收机通道时延不需要进行标校,因此可以利用通常的双频接收机进行时差的监测。其所需要的产品为SHA(或者GFZ,EMR)的日常发布的精密GLONASS钟差。

此外,其他系统时间监测也可以采用这种方法。目前上海天文台正在发展北斗、

GPS、GLONASS的综合数据处理，其数据处理还将基于以上介绍的流程。因此，可以基于其发布的北斗精密产品，采用该新方法进行北斗与其他导航系统的时差监测。

4 数据分析

目前IGS有超过150个测站具有GPS/GLONASS组合观测。以两个含有GPS/GLONASS观测值的IGS站（GOPE in Czech and TIXI in Russian）为例，解算每天单站时差监测得到的时差结果，并将它们与GLONASS/GPS系统发布的系统时差进行比较（这里忽略UTC(USNO)和UTC(SU)的差异）。统计二者的差异和精度。图1和图2列出了每个站在2012年期间共130天的时差监测结果和精度。

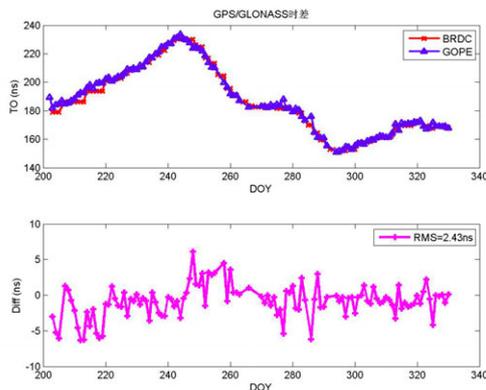


Figure 1. Comparison between the GPS/GLONASS Time Offset estimated from station GOPE and from Broadcast

图1 GOPE 站计算得到的系统时差与广播星历的系统时差比较

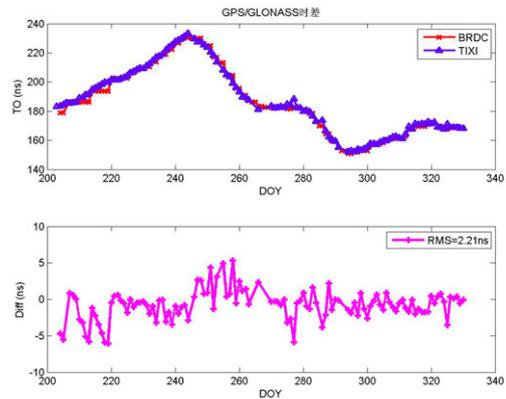


Figure 2. Comparison between the GPS/GLONASS Time Offset estimated from station TIXI and from Broadcast

图2 TIXI 站计算得到的系统时差与广播星历的系统时差比较

从图1和图2可以看出，这种方法计算得到的GPS/GLONASS系统时差与GLONASS发布的系统时差差异很小，其RMS都在3ns以内，这也说明了这种方法监测时差的正确性和可行性。另外，从GPS/GLONASS系统时差的变化趋势来看，GPS/GLONASS系统时差的变化趋势较为平稳，可以采用一定的模型和方法对其进行监测和预报，系统时差的正确预报对极端条件下用户的定位有很大的帮助[12]。

5 总结

论文首次提出了一种新的单站时差监测方法，该方法利用测站在不同时间基准下的钟差的变化直接求取系统时差。基于该方法设备时延不需要进行标校，从而大大降低了时差监测对设备和观测环境的要求，基于普通的用户接收机即可进行高精度时差监测。大量的计算结果表明了该方法的正确性与可行性。

References (参考文献)

- [1] Brown K. (1991), The Theory of the GPS Composed Clock, in: Proc. of ION GPS-91, Albuquerque, NM, Institute of Navigation,

1991. pp. 223 – 241.
- [2] ICD (2008) GLONASS Interface Control Document, edn 5.1, Russian Institute of Space Device Engineering
- [3] Delporte J (2009), The Definition and Implementation of Galileo System Time (GST) , ICG-4 WG-D on GNSS time scales , 2009
- [4] Ziqing Wei(2010) , Coordinate system and time scale in satellite navigation positioning and timing, CSNC2010, Beijing.
魏子卿(2010), 卫星导航定位定时中的坐标系统与时间尺度问题, 北斗导航年会, 北京
- [5] Li Liu, Chunhao Han.(2004). Two Way Satellite Time Transfer and its Error Analysis. Progress in Astronomy.2004 , 22(3):219—226 .
刘利, 韩春好(2004), 卫星双向时间比对及其误差分析, 天文学进展, 2004, 22(3) : 219—226 .
- [6] Gérard Petit and Zhiheng Jiang, Precise Point Positioning for TAI Computation, International Journal of Navigation and Observation 2008
- [7] Jiang Z and Petit G 2004 Time transfer with GPS All in View Proc. Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency (Beijing) pp 236–43
- [8] Weiss M A, Petit G and Jiang Z 2005 A comparison of GPS Common View time transfer to All in View Proc. FCS/PTTI Meeting (Vancouver), pp 324–338
- [9] Junping Chen, Bin Wu, et al (2012), GNSS Time offset Estimation and Effects on GPS、GLONASS Interoperability Performance. CSNC 2012, Guangzhou.
陈俊平, 吴斌等, GPS/GLONASS时差监测及其在多模定位中的应用[J], 第三届中国卫星导航年会, 广州, 2012.
- [10] Junping Chen, et al. SHA: The GNSS Analysis Center at SHAO. CSNC 2012.5
- [11] Shanghai Astronomical Observatory GNSS Data Analysis Center:
www.shao.ac.cn/shao_gnss_ac
上海天文台GNSS数据分析中心:
www.shao.ac.cn/shao_gnss_ac
- [12] Xiao Pei, Junping Chen, et al. Application of Inter-system Hardware Delay Bias in GPS/GLONASS PPP. CSNC 2012.5