

基于北斗/GNSS 精密时频量值传递综述

顾 胜¹ 陈洪卿² 曾 亮¹

(1. 北京航天飞行控制中心, 北京 100094; 2. 中国科学院国家授时中心, 西安 710600)

摘 要 介绍了北斗/GNSS 精密时间频率量值传递技术及其应用研究进展, 通过对北斗共视比对技术的研究, 设计出利用北斗共视与国家授时中心 GNSS CV 精密时间服务系统进行比对, 从而实现用户与标准时间 UTC 的溯源完成基于 GNSS CV 技术的时间频率计量服务系统设计, 创新性地提出提高北斗共视比对技术以及研制多模多频 GNSS CV 量值传递设备的研究方向。

关键词 北斗共视法 时频传递 GNSS CV 精密时间服务系统 标准时间

Review of the Precise Traceability of Time and Frequency based on BeiDou / GNSS Transfer

GU Sheng¹ CHEN Hong-qing² ZENG Liang¹

(1. Beijing Aerospace Flight Control Center, Beijing 100094;

2. National Time Service Center, Chinese academy of sciences, Xi'an 710600)

Abstract This article describes the research progress of the precise metrology system of the BeiDou/GNSS time and frequency transfer and its application, through the research on the common-view of the BeiDou system, design the GNSS CV precise time service system to compare with the National Time Service Center, in order to achieve the traceability of the standard time UTC. At the same time completes to design the GNSS CV time and frequency metrology service system, which innovatively gives the way to improve the common-view of BeiDou satellite system and develop the multi-mode and multi-frequency GNSS CV transmission equipments.

Key words BeiDou common-view method Time and frequency transfer GNSS CV precise time service system Standard time

1 引 言

中国计量测试学会时间频率专业委员会主任委员王义道教授在 2003 年贵阳召开的 2003 年全国时间频率学术会议的大会报告“建设我国独立自主时间频率系统的思考”中着重指出,“现代化战争中原子钟(时间)比原子弹更重要”,“利用 GPS 信号作为

时间频率标准来校验本地时间频率标准或测量仪器的情况越来越普遍,使原有的计量传递系统的作用相对降低”。电子技术飞速发展使经典(实物)送检方式的时间频率(器具)计量校准过程将逐渐被远程(卫星无线电或光传输技术)比对测量校准所替代^[1]。2011 年 10 月在京召开的 2011 年全国时间频率学术会议中众多专家和学者一致认同,近 10 年国

作者简介: 顾胜(1973-)男,高级工程师,主要研究方向:时频计量测试技术。

基金项目: 国家科技部 863 关键技术与示范项目“自主卫星导航系统精密时间传递”(编号 2009AA12Z328)资助。

内外时频计量的技术发展和应用,充分证实上述理念的正确与合理,并指出该研究方向将成为今后若干年内时频计量技术及其应用的发展方向。

2 基于共视技术的时频计量

导航卫星共视时间传递技术通过部分抵消卫星单向授时的卫星星历误差、卫星钟差、电离层/对流层延迟改正后的剩余误差、接收机数据处理模型误差等,大大提升时间频率比测精度^[2]。上世纪 80 年代 GPS 问世后, GPS 卫星共视比对测量就逐步取代罗兰 C 技术,成为国际原子时 TAI 系统散布于世界各地几百台原子钟比对测量、建立国际 TAI 和 UTC 的主要手段。随着 GPS 卫星系统的不断完善和计量测试需求的不断提高, GPS 多通道多星共视的 all-in-view 比测技术和设备逐渐替代 GPS 单星共视^[3]。GPS 卫星多星共视技术是与卫星双向时间频率传递(TWSTFT)技术精度相当的常用国际时频比对主要手段。而前者的设备费与运行维护使用成本要远低于后者。

鉴于飞秒光梳技术的普及应用,使得作为长度基准的标准激光波长得以直接溯源到微波频率基准,冷原子喷泉钟复现基准微波频率的不确定度已经优于 1×10^{-15} ,而最好的光学频率基准的不确定度达到 2009 年 6 月第 18 届国际时间频率咨询委员会(CCTF)会议 CCL-CCTF 联合工作组认为,“现在频率传递,特别是远程传递的不确定度远远滞后于频标的发展,急需加强对传递技术的研究”^[4];“虽然从上一届 CCTF 会议已将 GPS 工作组更名为 GNSS 工作组,但目前可用的导航卫星还只有 GPS,本次会议提出利用 GLONASS 卫星实现远距离时间频率传递,对于未来时间频率比对技术的发展和解决目前无法解决的问题很有帮助”^[4]。随着俄罗斯 GLONASS 卫星导航系统现代化更新,国际计量局 BIPM 已在长期试用 GLONASS 导航卫星多星共视比对结果的基础上,业已正式将与 GPS 系统各有千秋的 GLONASS 卫星共视数据,作为例行常规手段,用于国际原子钟比测和国际原子时归算。这标志着基于多模多频比测技术的 GNSS 卫星共视时间频率计量传递进入实际应用。

3 基于北斗卫星共视的时频传递应用

我国 UTC (CMTC) 的准确度和稳定度指标业

已达到国际先进水平,北斗卫星导航系统承担着通过卫星授时方式发播标准时间的任务,可以满足军民用户对高精度时间频率(计量)的需求。2010 年以前,北斗卫星导航试验系统发播 BDT1 与国家授时中心 UTC (NTSC) 的时差,用户查 BIPM 时频公报 (Circular-T) 获取 [UTC-UTC (NTSC)] 数据(每 5 天一个数据),由该时差溯源到 UTC。利用 UTC (CMTC) 替换 UTC (NTSC) 实现标准时间发播后,用户由时间公报获取 [UTC (CMTC)-UTC] 数据,溯源到 UTC,如图 1 所示^[5],通过 GPS 卫星共视,UTC (CMTC) 与 UTC (NTSC) 实现精密时频比对传递。

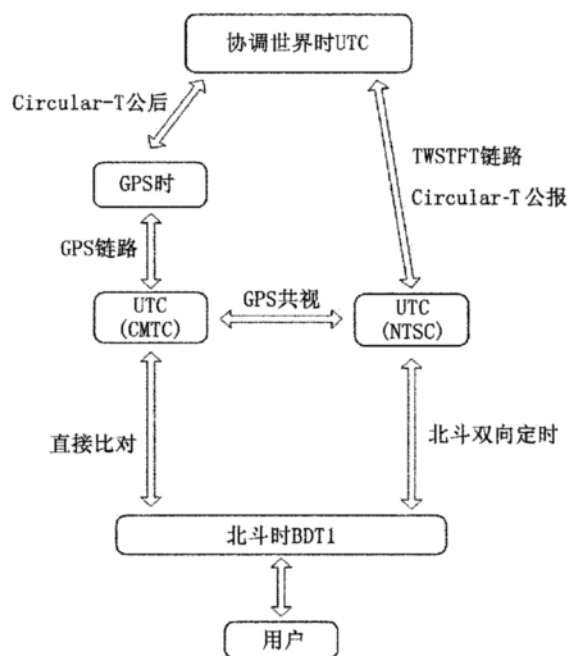


图 1 时间频率溯源 UTC 框图

自 2001 年我国北斗卫星导航试验系统开展卫星单向、双向授时业务以来,不断进行北斗卫星单向、双向共视时间传递的研究和应用。除时频实验室进行方法实验研究外,比较上规模的北斗卫星共视时频传递技术的应用^[6],已在各试验场区时频计量系统的相互比测、长河二号系统各导航台之间的时间频率同步以及星地一体化的“XX 网”组合导航系统中多有体现^[7-8]。他们所用设备都是实验室改造的非专用共视终端,共视比测结果也不如 GPS、GLONASS 卫星理想^[2],并且都是基于北斗系统 GEO 卫星共视;对于北斗系统 MEO 卫星和 IGSO 卫星的卫星共视技术还在研究探讨之中。目前由中国科学院国家授时中心主持起草的“北斗卫星共视时

间传递技术规范”仍在编审中^[9]。

未来一段时间,北斗卫星单向授时终端将被大量使用,授时精度将由 100ns 提升至 50ns,而这些终端进行有效检验、检定、计量的设备的时间精度就必须至少比它们高 3 至 5 倍,即只能允许 30ns 至 10ns 的误差。TWSTFT 技术能够很好地满足该精度需求,但设备费用昂贵,难以普及应用。而基于北斗卫星共视技术的相关设备只需要在单向授时硬件设备基础上做些修改和开发合适的测量、诊断、管理软件,就能满足计量测试的精度要求,具有较大的发展空间和优势。

4 基于 GNSS 卫星共视的时频量值传递

卫星共视技术及其应用,已从单星共视向多星全视、从 GPS 单一系统向 GPS、GLONASS、北斗、GALILEO 多系统(多模式)卫星共视发展,这是应用所需求的精密性、可靠性、完好性决定的,是大势所趋。GNSS 卫星共视(GNSS CV)是一种高精度远程时间频率传递技术,任何用户两两之间按 GNSS CV 标准化程序进行共视观测和数据交换处理,就能获得(10 ~ 1) ns 的时间同步精度。如果参与共视比对的两者之

一是保持国家标准时间或军用标准时间的实验室或计量中心,共视的另一方就与其选定的国家(军用)标准时间或相关参考基准实现了精确时间频率同步。基于上述思路,国家授时中心(NTSC)提出基于 GNSS CV 进行时频计量服务的方法:利用计算机网(或互联网)或其它(保密)通信手段进行数据实时传输和在线处理,快速测定用户钟与 UTC (NTSC) (或某时频中心、计量中心)之间相对钟差,实现用户钟与 UTC (NTSC) 高精度时间同步。此方法比对精度高、建设运行费用低、升级维护容易。共视法用户通过互联网登陆共视时间服务系统网站,按规范提交自己的共视观测数据,系统便会自动进行共视数据的比对计算处理,得出用户时钟与国家标准时间的相对偏差,比对结果将通过互联网用户会员中心的形式返回给参与共视比测的用户^[10]。

国家授时中心的 GNSS CV 精密时间服务系统由主站观测单元、用户观测单元、系统管理单元和数据处理单元四大部分组成,如图 2 所示。其中主站观测单元主要测量 UTC (NTSC) 与 GPS 和 GLONASS 卫星钟的时间差;用户端观测单元主要测量本地时间与 GNSS 卫星钟的时间差;系统管理单元主要实现观测数据的获取、IGS 精密星历等产品的定时下载、数据

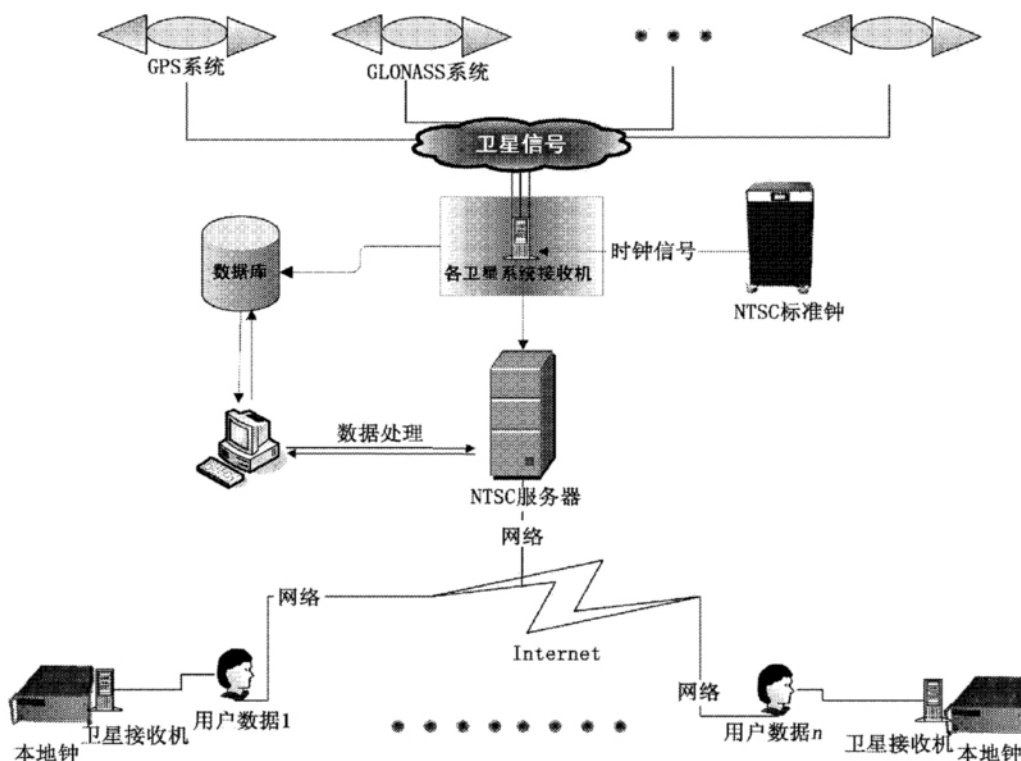


图 2 GNSS CV 精密时频量值传递服务系统架构图

处理结果的投送等; 数据处理单元进行数据预处理和比对数据处理, 判断用户提交数据的类别和覆盖时间, 并从本地数据库中调取相应的观测数据和 IGS 相关产品进行 GNSS 共视比对计算。

GPS CV 用户、GLONASS CV 用户与 UTC (NTSC) 比对结果分析图分别如图 3、图 4 所示, 单位为 ns, 图中的表示该用户钟与 UTC (NTSC) 的偏差趋势。北斗时间传递、载波相位时间传递服务正在测试, 将陆续开通^[10]。

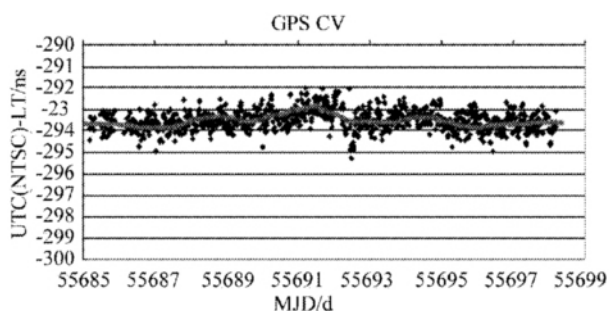


图 3 GPS CV 相对于 UTC (NTSC) 的比对结果图

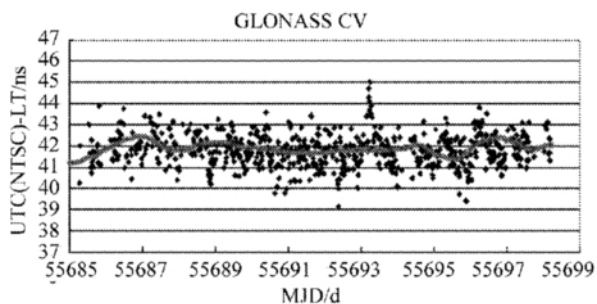


图 4 GLONASS CV 相对于 UTC (NTSC) 的比对结果图

需要指出的是, 从基于单一卫星导航系统的卫星共视时频传递向多系统的 GNSS 卫星共视时频传递推进, 增加了同时共视的可用卫星数, 会提升传递精度及可靠性。与此同时, 这种潜在优势可能由于不同卫星导航系统的“坐标参考系统”、“时间参考系统”的差别得不到精密转换参数加以修正而被抵消^[11]。

5 讨论与展望

正如参考文献 [2] 所披露的, 目前国内采用授时/导航技术开发的北斗 RDSS、GPS、GLONASS 共视时间频率量值传递 GNSS 接收机, 都是基于 GEO 卫星共视的, 采用北斗系统 MEO 卫星和 IGSO 卫星的卫星共视技术将是未来的发展趋势和研究方向。而且对于影响多系统卫星共视时频传递精度的不同

卫星系统间的时间差、坐标系统差以及数据建模处理、判决、管理等问题, 也将是今后时频量值传递研究需要解决的难题。

研制既可进行普通 GNSS 单向定时, 又可进行 GNSS 共视处理的通用型多模多频 GNSS 共视接收设备, 可以实现对精度为 100 ns 至 50 ns 授时设备的计量检定, 满足大多数用户的需求。随着 PPP (Precise Point Positioning) 技术在大地测绘精密定位技术的不断发展, 将该技术运用于时间频率量值传递中将会大大提高传递精度。移植 PPP 技术 (前端) 成果, 研制高级 GNSS 共视时频量值传递设备, 可以满足高级别时频实验室或计量测试中心对时间同步精度不断增长的需求。这些设备可广泛运用于电力、金融、高速交通用户、广播电视等系统的时间同步, 将对国民经济以及综合国力产生积极作用, 具有较大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 王义道. 建设我国独立自主时间频率系统的思考 [J]. 宇航计测技术, 2004, 24(1): 1~10.
- [2] 高玉平等. 多系统 (GPS/GLONASS/北斗) 时间传递接收机 NTSCGNSS-A 的性能测试 [C]. 成都: 2009 全国时间频率学术会议论文集, 2009: 570~578.
- [3] 江志恒. GPS 全视法时间传递回顾与展望 [J]. 宇航计测技术, 2007, 27(21): 53~71.
- [4] 高小珣, 高源, 张爱敏等. 原子时标的现状与发展 [C]. 北京: 2011 全国时间频率学术会议, 2011: 246~248.
- [5] 徐金锋, 刘阳琦, 李硕. 北斗导航试验系统发播 UTC (CMT) 对用户的影响分析 [C]. 北京: 2011 全国时间频率学术会议, 2011: 310~313.
- [6] 陈洪卿, 陈向东. 北斗卫星导航系统授时应用 [J]. 数字通信世界 (导航天地), 2011: 54~58.
- [7] 陈洪卿, 王宏远, 吕彩田等. 北斗长河组合导航伪时差测量与 ASF 修正 [J]. 宇航计测技术, 2004, 24(3): 3~5.
- [8] 严建华, 张洪源, 李文魁等. 北斗卫星共视增强罗兰-C 授时应用 [J]. 宇航计测技术, 2009, 29(5): 37~39.
- [9] 刘娜等. GB《北斗卫星共视时间传递技术规范》的制定及兼容性设计 [C]. 上海: 第二届中国卫星导航学术年会 (CSNC2011), 2011: 1~4.
- [10] 刘娜, 程华军, 高玉平. 基于 GNSS CV 精密时间服务系统简介 [C]. 北京: 2011 全国时间频率学术会议, 2011: 484~487.
- [11] 陈洪卿, 王振伟, 高玉平. GPS (系统) 时间诠释与思考 [C]. 北京: 2011 全国时间频率学术会议, 2011: 388~391.