doi:10.11887/j.cn.202106009 http://journal.nudt.edu.cn

北斗三号新信号体制共视时间比对*

张继海[1,2,3],董绍武[1,3,4],袁海波[1,2,3],广 伟[1,3],赵书红[1,3],王威雄[1,3,4]
(1. 中国科学院国家授时中心,陕西 西安 710600;2. 中国科学院大学,北京 100049;
3. 中国科学院时间频率基准重点实验室,陕西 西安 710600;4. 中国科学院大学 天文与空间科学学院,北京 100049)

摘 要:为促使北斗系统特别是北斗三号系统尽早加入国际原子时计算,利用中国科学院国家授时中心以及捷克无线电工程和电子学院两个守时实验室接收机产生的北斗三号新信号体制观测数据,开展基于北斗三号新信号体制共视时间比对试验。结果表明,北斗三号信号的多路径噪声影响小于北斗二号信号,且信噪比优于北斗二号信号。对比已有的研究,北斗三号新信号体制(B1C和B2a)共视时间比对的噪声相对于北斗三号卫星播发的北斗二号兼容信号体制(B1I和B3I)有较大的改善,其结果与GPS、Galileo共视比对结果相当,且在零基线共钟比对中,基于北斗三号新信号体制比对钟差的标准偏差相对于北斗二号信号提高了40%以上;利用北斗三号新信号体制共视得到的亚欧两地钟差噪声小于北斗二号信号,且比对钟差的稳定度相对于北斗二号提高了10%以上。该试验也可为北斗三号时间比对纳入国际原子时计算提供相关的研究基础。

关键词:北斗卫星导航系统;信号噪声;共视时间比对;国际原子时
中图分类号:TH714 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-2486(2021)06-066-08

Common view time comparison by new signal system of BDS-3

ZHANG Jihai[1,2,3], *DONG Shaowu*[1,3,4], *YUAN Haibo*[1,2,3], *GUANG Wei*[1,3], *ZHAO Shuhong*[1,3], *WANG Weixiong*[1,3,4]
(1. National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi′an 710600, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Time and Frequency Primary Standards, Chinese Academy of Sciences, Xi′an 710600, China; 4. School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to promote the application of BDS (BeiDou navigation satellite system), especially the BDS-3 to join TAI (international atomic time) calculation, BDS-3 common view time comparison was implemented by using the pseudo code measured data of BDS-3 new signal between National Time Service Center of Chinese Academy of Sciences and the Institute of Photonics and Electronics Academy of Sciences of the Czech Republic. The results show that the signal of multipath noise and signal-to-noise ratio of BDS-3 are less than those of BDS-2. Compared with the previous studies, the noise of common view time comparison based on new BDS-3 (B1C & B2a) signal is much better than that of the BDS-2 (B1I & B3I) compatible signal, which is broadcasted by the BDS-3 satellite, and the results are similar to those of GPS and Galileo, the standard deviation of the result based on BDS-3 signal is increased by more than 40% compared with BDS-2 signal. The noise of BDS-3 single common view is smaller than that of BDS-2, and frequency stability of result is increased by more than 10% relative to BDS-2. The experiment can provide research foundation for the BDS-3 application in the TAI calculation.

Keywords: BeiDou navigation satellite system; signal noise; common view time comparison; international atomic time

国际权度局(Bureau International des Poids et Mesures, BIPM)利用GPS共视(Common View, CV)时间比对方法开展国际上守时实验室间的高精度时间比对并用于国际原子时(International Atomic Time, TAI)的计算始于20世纪80年代[1-2]。同时,该方法也被广泛应用于本地时间与国家标准时间的同步。随着卫星导航技术的发展,为了提高国际原子时计算的稳定性与可靠性,2009年国际时频咨询委员会(Consultative Committee for Time and Frequency, CCTF)建议利用多方法远距离时间比对技术进行国际原子时的计算,并互相形成冗余备份,以提高计算的准确性和可靠性。目前,在国际计量局每月发布的Circular-T公报中,仅包含了GPS系统时间GPST以及GLONASS系统时间GLNT相对于国际标准时间——协调世界时(Universal Time Coordinated,

* **收稿日期**:2020-06-22
基金项目:国家自然科学基金资助项目(11773030);中国科学院国家授时中心"青年创新人才"资助项目(NTSC青创201804);中国科学院"西部之光"青年学者B类资助项目(XAB2019B13)
作者简介:张继海(1988—),男,陕西西安人,博士研究生,E-mail:zhangntsc@126.com;
董绍武(通信作者),男,研究员,博士,博士生导师,E-mail:sdong@ntsc.ac.cn

UTC)的时差监测结果供用户使用以及开展相关的科学研究。我国自主设计与建设的北斗三号全球卫星导航系统于 2020 年 7 月 31 日正式开通服务,其包含 3 颗地球同步轨道卫星、24 颗中圆地球轨道卫星以及 3 颗倾斜地球同步轨道卫星,为全球用户提供高质量的定位、导航与授时(Positioning, Navigation and Timing, PNT)服务[3-4]。2017 年在法国巴黎举办的第 21 届 CCTF 大会上,相关专家学者也建议尽快将北斗系统纳入国际原子时的归算中,并与其他卫星导航系统形成冗余备份。早在 2015 年,BIPM 的 Defraigne 和 Petit 在基于卫星导航系统标准共视时间比对(Common GNSS Generic Time Transfer Standard, CGGTTS)的参考下,发表了关于扩展 CGGTTS 共视文件时间传递标准的文章[5],统一了多系统标准共视时间传递规范(CGGTTS-V2E),并将全球四大导航系统以及日本准天顶卫星系统(Quasi-Zenith Satellite System, QZSS)纳入标准规范中,用于全球守时实验室间开展常规的时间比对以及相关研究的标准。但该标准中,利用我国北斗系统卫星观测数据生成的 CGGTTS 标准共视文件是基于北斗二号信号频点(B1I & B2I)的数据。因此,随着我国北斗三号系统及其新频点信号的建设与广泛应用,基于北斗三号新信号体制时间比对的研究会成为国际计量局未来开展北斗共视时间比对的必然趋势。

本文基于我国时间基准 UTC(NTSC)系统以及捷克国家时间基准 UTC(TP)系统之间的比对链路,在 CGGTTS-V2E 文件标准的指导下,开展北斗三号信号(B1C & B2a)共视时间比对试验,分别对信号观测质量、零基线以及亚欧长基线时间比对钟差相对于北斗二号信号(B1I & B2I, B1I & B3I)的提高进行了验证与分析。该试验也为基于北斗三号信号体制的远距离时间比对参与国际原子时的计算提供了可靠的技术与试验基础,同时也进一步增强了基于北斗系统高精度时间比对方面的应用。

1　北斗共视数据产生与比对原理

以本地守时实验室的 UTC(k)为参考信号,接收机通过直接接收北斗广播信号开展北斗三号信号共视时间比对研究,其原理链接如图 1 所示[6-7]。

本地卫星观测以及数据采集如图 1 所示,数据采集模块实时存储所观测到北斗系统卫星的观测值,因此一般原始观测方程[8]可描述为:

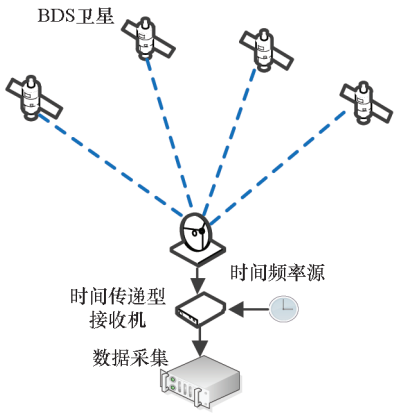


图 1　接收北斗广播信号法

Fig. 1　Method of receiving BDS broadcast signal

$$P^i = \rho + c(dt_r - dT_s^i) + d_{trop} + d_{ion}^i + d_{mult}^i + \varepsilon_P^i \tag{1}$$

式中:上标 i 为不同的载波频点;c 为光速,其值为 299 792 458 m/s;P^i 为单频上的伪距观测值,ρ 为真实的站星距离,cdt_r 为接收机钟差改正项,cdT_s^i 为卫星钟差改正项,d_{trop}为对流层带来的延迟,d_{ion}^i 为不同频点电离层引起的时延,d_{mult}^i 为不同载波信号上所引起的多路径延迟,ε_P^i 为伪距观测值引入的测量噪声,单位均为 m。

1.1　电离层时延修正

对于 B1C 和 B2a 信号的双频用户,采用双频无电离层组合伪距来修正电离层延迟的影响,其计算方法[9-10]为:

$$PC_{B1Cp-B2ap} = \frac{k_{12}P_{B1Cp} - P_{B2ap}}{1 - k_{12}} \tag{2}$$

式中:$k_{12} = \left(\frac{1\,575.42}{1\,176.45}\right)^2$ 为与频率有关的因子;$PC_{B1Cp-B2ap}$为 B1C 导频分量 $C1P$ 和 B2a 导频分量 $C5P$ 的双频无电离层组合伪距。由于北斗广播的时空基准为 B3 频点,利用的 B1C 和 B2a 频点与 B3 频点或信号之间存在差分码偏差(Differential Code Bias, DCB)。利用 IGS 分析中心发布的北斗 DCB 精密产品,用以消除不同频点或信号分量的发射时延差。式(2)可描述[10]为:

$$PC_{B1Cp-B2ap} = \rho + c(dt_r - dT_s) + d_{trop} - \left[\frac{k_{12}}{k_{12}-1}DCB_{(P1P3)} - \frac{1}{k_{12}-1}DCB_{(P2P3)}\right] \tag{3}$$

式中,$DCB_{(P1P3)} = C1P - C6I$, $DCB_{(P2P3)} = C5P - C6I$,其中 $C6I$ 为北斗 B3 频点的伪码观测数据。

1.2　卫星钟差修正

卫星钟差修正可利用二次模型进行修正,其表达式如式(4)所示[9]。

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r \quad (4)$$

式中：Δt_{sv} 为卫星测距码相位时间偏移(s)；a_0，a_1，a_2 分别为卫星钟时间偏差(s)、卫星钟频偏(s/s)以及卫星钟频漂(s/s^2)；t 为信号发送时刻卫星测距码相位时间；Δt_r 为相对论修正项，其值为

$$\Delta t_r = F \cdot e \cdot \sqrt{A} \cdot \sin E_k \quad (5)$$

共中，e 为卫星轨道偏心率；$\sqrt{A}$为卫星轨道长半轴的开方；E_k 为卫星轨道偏近点角；$F = -2\mu^{1/2}/c^2$，$\mu = 3.986\,004\,418 \times 10^{14}$ m^3/s^2 为地心引力常数。

1.3 对流层时延改正

参照 BIPM 发布的标准共视规范(CGGTTS-V2E)文件，对流层时延修正利用 NATO 模型[5]，其表达式如式(6)所示。

$$\Delta t_{tropo} = f(E) \cdot \Delta R(h) \quad (6)$$

式中：E 为卫星方向高度角，

$$f(E) = \frac{1}{\sin(E) + \dfrac{0.001\,43}{\tan(E) + 0.045\,5}} \quad (7)$$

$\Delta R(h)$为天顶方向对流层总时延，h 为接收天线的海拔高度(km)，$\Delta R(h)$可以利用式(8)计算。

$$\Delta R(h) = \begin{cases} \dfrac{1}{c}\left[2\,162 + N_s(1-h) + 0.5\Delta N(1-h^2)\right] \times 10^{-3} & h \leqslant 1\ \text{km} \\ \dfrac{1}{c}\left[732 - 8\dfrac{N_s + \Delta N}{N_{slog}}\left(e^{-N_{slog}} - e^{0.125(1-h)N_{slog}}\right)\right] \times 10^{-3} & h > 1\ \text{km} \end{cases} \quad (8)$$

其中，$N_s = 324.8$，$\Delta N = -7.32e^{0.005\,577N_s}$，$N_{slog} = \ln[(N_s + \Delta N)/105]$。

基于 BIPM 发布的关于标准共视(CGGTTS-V2E)时间传递规范，北斗标准共视(CGGTTS 格式数据)数据处理方法可描述为接收机连续跟踪 16 min(其中前 2 min 为接收机捕获卫星阶段，中间 13 min 为接收机连续跟踪卫星并采集观测值，后 1 min 为数据处理阶段)的卫星测量数据，其中对 13 min 可视范围内所有北斗卫星，利用采集的伪距值对每颗卫星的卫星钟差项、接收机误差项以及信号传播路径上的各项时延进行修正，获得每秒下通过单颗卫星计算得到的本地时与北斗卫星导航系统时间(BeiDou navigation satellite system Time，BDT)之间的偏差，最后将单颗星解算的 780 个连续的时差值按照 CGGTTS-V2E 标准规范进行拟合，取中间点处的钟差值作为当前 16 min 下的本地时与 BDT 的偏差。其数据算法处理过程描述如图 2 所示[5, 11-12]。

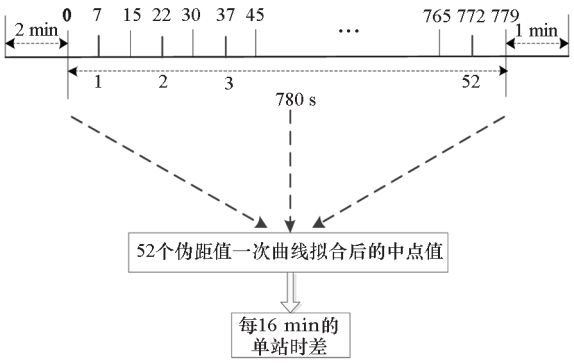


图 2 北斗标准 CGGTTS 产生过程

Fig. 2 Standard CGGTTS generation process of BDS

基于上述所描述的算法流程，利用本地所观测到的北斗 RINEX 观测文件以及导航电文文件，解算出北斗二号信号以及北斗三号信号的标准 CGGTTS 共视文件，并开展两地基于北斗导航系统的共视时间比对，其比对原理如图 3 所示。

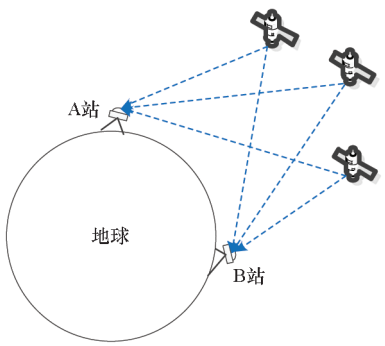


图 3 北斗共视时间比对法

Fig. 3 Method of BeiDou common view time comparison

北斗共视算法可描述为：设 A 站的时间为 t_A，B 站的时间为 t_B，北斗系统时间为 BDT[11]。

$$\Delta t_A = t_A - BDT \quad (9)$$

$$\Delta t_B = t_B - BDT \quad (10)$$

式(9)减式(10)即可得到两观测站的时间偏差：

$$\Delta t_A - \Delta t_B = t_A - BDT - t_B + BDT = \Delta t_{AB} \quad (11)$$

2 试验结果分析

利用放置于我国时间基准系统以及捷克时间基准系统中的 GNSS 多系统时间传递型接收机采集输出的观测值，开展北斗三号信号共视时间比对研究，并对数据处理的结果进行分析与验证。

表 1 为试验中各守时实验室中所用到的接收机类型及其天线。

表 1　实验室中所用的接收机

Tab. 1　Receivers using in the lab

实验室	接收机编号	接收机类型	天线类型
NTSC	NTSC01	SEPT POLARX5TR	SEPCHOKE_MC
	NTSC02	SEPT POLARX5TR	SEPCHOKE_MC
TP	TP01	JAVAD TRE_3	NOV850

2.1　观测信号质量分析

2.1.1　伪距多路径噪声

在基于伪距的时间比对中,多路径效应是指本地观测站天线除了接收到一个 GNSS 卫星发射的电磁波信号外,还可能会接收到若干个该信号经天线周围建筑、树木等物体反射或折射回的信号,这些非直线路径信号会使接收机得到的信号失真并导致码伪距和相位测量错误[13-16]。在此,利用伪码和载波相位观测无电离层组合观测值估算出多路径所带来的误差噪声影响,其表达式[17]可描述为:

$$MP_j = -\frac{f_j^2+f_i^2}{f_j^2-f_i^2}\lambda_j\varphi_j + \frac{2f_i^2}{f_j^2-f_i^2}\lambda_i\varphi_i + P_j - B_{ij} \tag{12}$$

式中,下角标 i 和 j 为不同频点,MP_j 为伪距多路径组合(单位:m),λ_i 和 λ_j 为波长,f_i 和 f_j 为载波频率,φ_i 和 φ_j 为载波相位观测值,P_j 为伪距观测值,B_{ij}为模糊度。

利用 2020 年 4 月 15 日—2020 年 4 月 24 日我国时间基准系统中接收机采样间隔为 300 s 的北斗二号信号频点(B1I、B2I)以及北斗三号信号新频点(B1C、B2a)的伪距以及载波相位观测数据,分别对可视范围内的所有北斗卫星开展多路径噪声影响分析。

图 4 和图 5 分别为北斗 B1I、B1C 以及 B2I、B2a 不同频点的多路径噪声随卫星高度角的变化情况。由此可见,北斗三号信号引起的多路径噪声

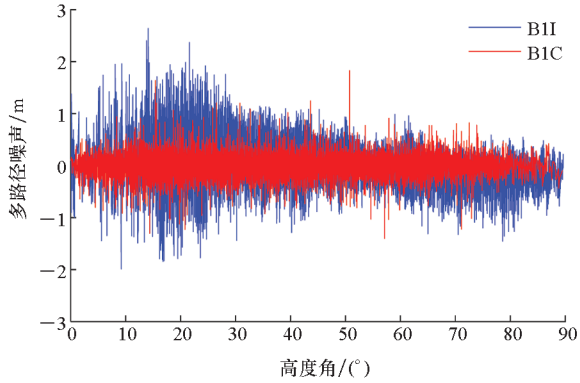


图 4　北斗 B1I 及 B1C 频点多路径噪声

Fig. 4　Multipath noise of B1I and B1C

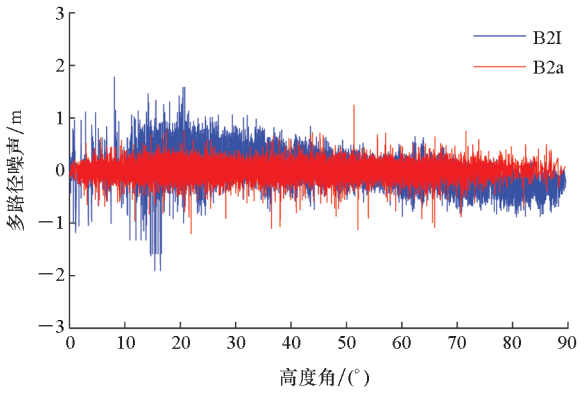


图 5　北斗 B2I 及 B2a 频点多路径噪声

Fig. 5　Multipath noise of B2I and B2a

要小于北斗二号信号引起的多路径噪声,且北斗三号引起的多路径误差噪声相对于北斗二号较平稳。

2.1.2　北斗信号信噪比

开展远距离时间比对的信息都是基于本地接收机解算的 GNSS 卫星空间信号,通常利用信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)来衡量空间信号的好与坏,并间接反映测距的精度。SNR 定义为接收到的信号功率 P_R 与信号噪声功率 $N = kTB_n$ 之间的比率,如式(13)所示[18-19]。

$$SNR = P_R/(kTB_n) \tag{13}$$

式中:k 为玻尔兹曼常数,其值为 1.38×10^{-23} J/K;T 为噪声温度,单位为 K;B_n 为噪声带宽,单位为 Hz。

利用 2020 年 4 月 15 日—2020 年 4 月 24 日我国时间基准系统中接收机采样间隔为 300 s 的北斗二号信号频点(B1I、B2I)以及北斗三号信号频点(B1C、B2a)的观测数据,分别对可视范围内的所有北斗卫星开展信噪比分析。

图 6 和图 7 分别为北斗 B1I、B1C 以及 B2I、B2a 不同频点的信噪比随卫星高度角的变化情况。从图中可以看出高度角越大,则信号信噪比越高,B1I 和 B1C 的信噪比分别保持在 20 ~

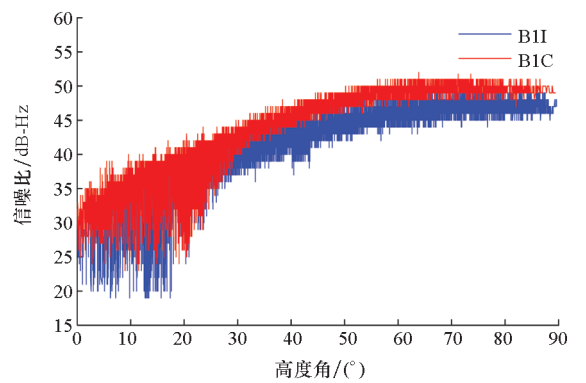


图 6　北斗 B1I 及 B1C 频点信噪比

Fig. 6　SNR of B1I and B1C

50 dB-Hz以及 25 ~ 52 dB-Hz，B2I 和 B2a 的信噪比分别保持在 20 ~ 53 dB-Hz 以及 25 ~ 53 dB-Hz；B1C 频点的信噪比要高于 B1I，B2a 频点的信噪比在高度角大于 50°时要高于 B2I。

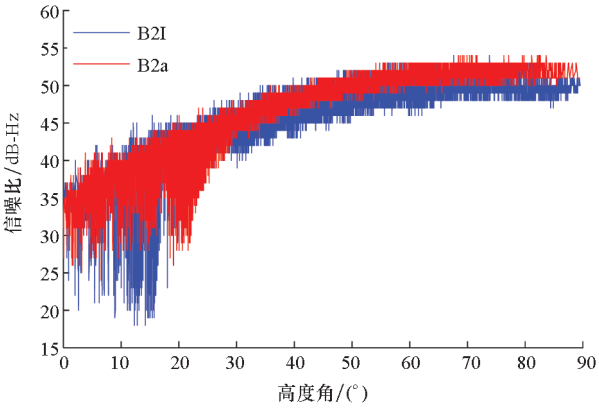


图 7　北斗 B2I 及 B2a 频点信噪比

Fig. 7　SNR of B2I and B2a

2.2　北斗三号信号体制共视时间比对

2.2.1　北斗三号零基线共钟比对

利用守时系统中的两台同源 GNSS 接收机 2020 年 4 月 15 日—2020 年 5 月 10 日的 RINEX 多系统观测数据，开展零基线同源时间比对（Common Clock Difference，CCD）实验研究[20-21]，两台接收机外接 UTC(NTSC)信号源，同时接收机各自外接自带天线，接收机连接原理如图 8 所示。

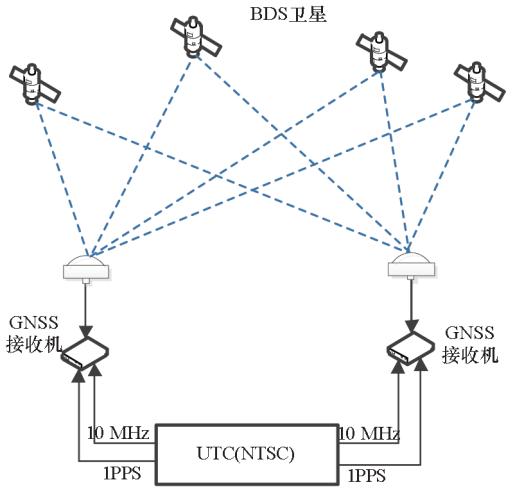


图 8　接收机连接原理

Fig. 8　Principle of receiver connection

如图 8 所示，两台接收机天线的直线距离为 5 m 以内，且在零基线时间比对中，由于外接相同的时间频率源，因此一次差分可以消除大部分原子钟所带来的噪声影响[8, 22]，进而能够直接反应出时间比对的性能。此方法也被 BIPM 用在全球时间比对链路相对校准中。

如图 9 所示，利用北斗三号新频点信号双频组合解算的零基线钟差波动基本在 ±1 ns 以内，北斗二号信号双频组合钟差的零基线结果波动在 ±2 ns 以内，且北斗三号零基线钟差的噪声明显小于北斗二号。钟差的标准差（STandard Deviation，STD）如表 2 所示。

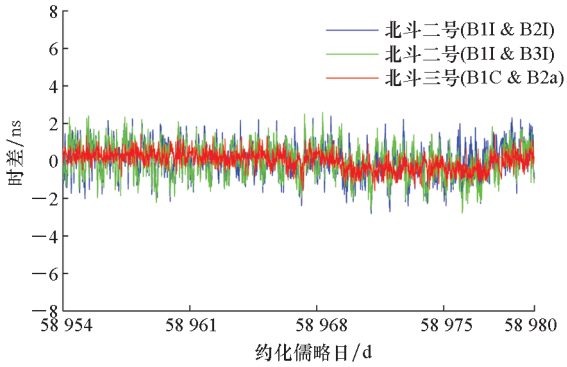


图 9　北斗二号和北斗三号零基线钟差比对结果

Fig. 9　Result of CCD in BDS－2 and BDS－3

表 2　北斗零基线钟差标准差

Tab. 2　The STD of BDS CCD

系统	STD/ns
北斗二号(B1I & B2I)	0.870 0
北斗二号(B1I & B3I)	0.860 0
北斗三号(B1C & B2a)	0.485 1

通过表 2 可以看出，北斗三号 B1C 和 B2a 频点组合的零基线钟差的标准差最优，且 B1C 和 B2a 频点组合的零基线钟差的标准差相对于北斗二号 B1I 和 B2I 频点组合提高了 44.24%，相对于北斗二号 B1I 和 B3I 频点组合提高了 43.59%。

图 10 为利用北斗三号以及其他三大导航系统的零基线比对钟差。从图 10 可以看出，四系统零基线钟差结果具有较好的一致性（为了能够直

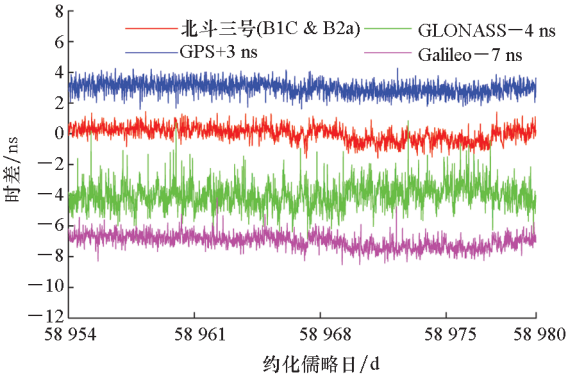


图 10　GNSS 四系统零基线钟差比对

Fig. 10　CCD of four systems of GNSS

观地看出对比结果，将基于 GPS、GLONASS 以及 Galileo 系统的钟差进行了平移，平移后的钟差在时间比对方面不影响比对钟差的稳定度以及不确定度等）。表 3 为利用不同系统开展零基线比对钟差的标准偏差。

表 3　四系统零基线钟差标准差

Tab. 3　STD of four systems CCD

系统	STD/ns
北斗三号	0.485 1
GPS	0.426 3
GLONASS	0.807 1
Galileo	0.462 0

通过表 3 可以看出，四系统零基线比对钟差的标准差均优于 1 ns，且北斗三号信号的零基线钟差的标准差与 GPS 系统以及 Galileo 系统相当。

2.2.2　北斗三号长基线共视时间比对

利用 2020 年 4 月 15 日—2020 年 5 月 10 日的北斗 RINEX 观测数据，分别基于北斗二号信号无电离层组合以及北斗三号信号无电离层组合开展中捷远距离北斗共视时间比对（两守时实验室之间的距离约为 7 058 km），并与其他三个卫星导航系统进行对比。

图 11 为利用北斗二号（B1I & B2I）信号与北斗三号信号以及 GPS、GLONASS、Galileo 开展的中捷两地高精度共视时间比对钟差。从图 11 中可以看出，利用四系统开展的共视时间比对钟差具有相同的趋势项，且北斗三号 B1C 和 B2a 双频组合获得的两地钟差相对于北斗二号 B1I 和 B2I 双频组合获得的两地钟差具有较小的噪声。

图 12 为北斗二号 B1I 与 B3I 双频组合与北斗三号信号双频组合的两地共视时间比对钟差。

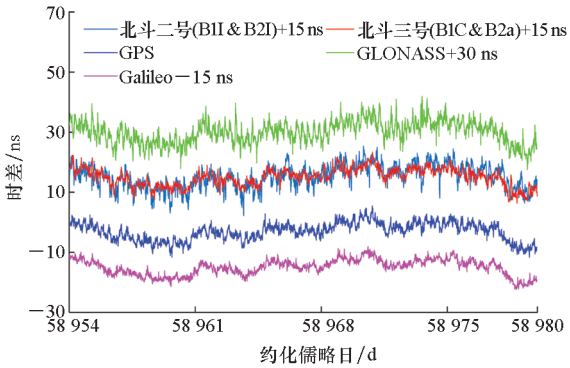


图 11　基于 GNSS 四系统的共视时间比对

Fig. 11　Common view time comparison based on four systems of GNSS

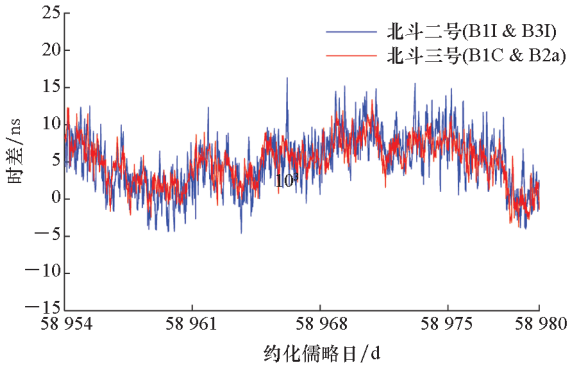


图 12　基于北斗二号与北斗三号的共视时间比对

Fig. 12　Common view time comparison based on BDS－2 and BDS－3

从图 12 的结果可以看出，利用北斗三号信号的双频组合与北斗二号具有相同的趋势项，且北斗三号 B1C 和 B2a 双频组合获得的两地钟差的噪声小于北斗二号 B1I 与 B3I 双频组合的结果。

基于四系统获得两地比对钟差的频率稳定度（通常利用 Allan 方差（Allan DEViation，ADEV）表征），同时对比了北斗三号新信号体制组合与北斗二号信号组合的结果，如图 13 和表 4 所示。

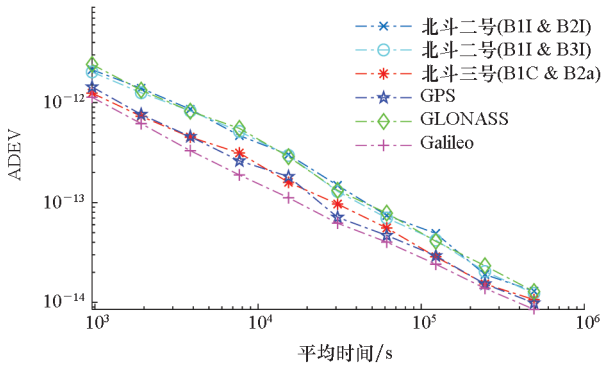


图 13　钟差的频率稳定度

Fig. 13　Frequency stability of time difference

表 4　基于北斗共视的两地钟差频率稳定度

Tab. 4　Frequency stability of time difference by using BDS common view

时间/s	北斗二号（B1I & B2I）	北斗二号（B1I & B3I）	北斗三号（B1C & B2a）
960	$2.135\,1\times10^{-12}$	$2.025\,5\times10^{-12}$	$1.245\,0\times10^{-12}$
1 920	$1.390\,5\times10^{-12}$	$1.255\,0\times10^{-12}$	$7.296\,8\times10^{-13}$
3 840	$8.584\,8\times10^{-13}$	$8.249\,6\times10^{-13}$	$4.516\,6\times10^{-13}$
7 680	$4.680\,4\times10^{-13}$	$5.140\,5\times10^{-13}$	$3.130\,4\times10^{-13}$
15 360	$3.018\,1\times10^{-13}$	$2.957\,5\times10^{-13}$	$1.592\,7\times10^{-13}$
30 720	$1.484\,6\times10^{-13}$	$1.292\,7\times10^{-13}$	$9.656\,4\times10^{-14}$
61 440	$7.422\,1\times10^{-14}$	$6.992\,2\times10^{-14}$	$5.563\,1\times10^{-14}$
122 880	$4.904\,2\times10^{-14}$	$4.203\,4\times10^{-14}$	$2.863\,9\times10^{-14}$
245 760	$1.902\,9\times10^{-14}$	$2.037\,7\times10^{-14}$	$1.531\,4\times10^{-14}$
491 520	$1.295\,7\times10^{-14}$	$1.232\,4\times10^{-14}$	$1.065\,7\times10^{-14}$

从图 13 和表 4 可以看出利用北斗(二号以及三号)以及其他导航系统开展中国和捷克两国守时实验室间的共视比对钟差的频率稳定度在 10^{-4}/天量级,且北斗三号新信号体制 B1C 和 B2a 双频组合获得的两地钟差的稳定度相对于北斗二号 B1I 和 B2I 双频组合以及 B1I 和 B3I 双频组合具有明显的提高。

图 14 为利用北斗三号 B1C 和 B2a 双频组合获得的两地钟差的稳定度相对于北斗二号 B1I 和 B2I 双频组合以及 B1I 和 B3I 双频组合提高的百分比。

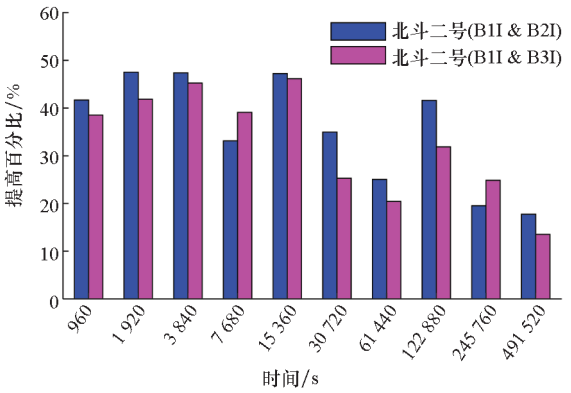


图 14 频率稳定度提高百分比

Fig. 14 Improvement percent of frequency stability

通过图 14 可以看出基于北斗三号长基线共视比对相对于北斗二号,不仅可以减少两地时间比对钟差的噪声,而且可以改善两地时间比对钟差的稳定度。

3 结论

基于我国时间基准系统和捷克国家时间基准系统中的 GNSS 多系统接收机原始观测数据(采样间隔为 30 s),并采用 BIPM 发布的 CGGTTS-V2E 时间传递规范,开展了基于北斗三号信号的共视时间比对研究,对比分析了北斗二号信号观测质量与北斗三号信号观测质量,以及中捷两地分别基于北斗二号及三号信号的共视时间比对。

试验结果表明,基于北斗三号信号的共视时间比对可以有效改善本地测码伪距的观测质量,相对于北斗二号信号,减少了多路径噪声的影响,提高了观测信号的信噪比。基于北斗二号信号频点的双频组合以及北斗三号信号频点的双频组合与 GPS、GLONASS、Galileo 系统在接收机零基线共钟时间比对方面,利用北斗三号获得的两接收机零基线钟差相对于北斗二号的噪声较小,且标准偏差优于北斗二号,并与 GPS 以及 Galileo 系统获得的两接收机零基线钟差结果的标准偏差相当。在共视时间比对方面,利用四系统获得 UTC(NTSC)与 UTC(TP)的钟差结果具有相同的趋势,且北斗三号信号频点的测码伪距组合解算的两地钟差相对于北斗二号信号频点组合的测码伪距组合解算的两地钟差噪声较小。同时,利用北斗三号信号解算两地钟差的稳定度优于北斗二号信号,提高在 10% 以上。

目前,随着北斗三号全球系统全球组网的完成,北斗系统将为全球用户提供高精度的 PNT 服务。同时基于北斗三号信号频点的高精度时间比对也为参与国际原子时的计算提供了技术支撑。

参考文献(References)

[1] PETIT G, HARMEGNIES A, MERCIER F, et al. The time stability of PPP links for TAI[C]//Proceedings of Joint Conference of the IEEE International Frequency Control and the European Frequency and Time Forum, 2011: 1-5.

[2] ALLAN D W, THOMAS C. Technical directives for standardization of GPS time receiver software [J]. Metrologia, 1994, 31 (1): 69-79.

[3] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统发展报告[R/OL]. (2019-12-27)[2020-05-21]. http://www.beidou.gov.cn/yw/xwzx/201912/W020191227723202425641.pdf.
China Satellite Navigation Office. Development report of the BeiDou navigation satellite system[R/OL]. (2019-12-27)[2020-05-21]. http://www.beidou.gov.cn/yw/xwzx/201912/W020191227723202425641.pdf. (in Chinese)

[4] HAN C H, YANG Y X, CAI Z W. BeiDou navigation satellite system and its time scales[J]. Metrologia, 2011, 48(4): S213-S218.

[5] DEFRAIGNE P, PETIT G. CGGTTS-version 2E: an extended standard for GNSS time transfer[J]. Metrologia, 2015, 52(6): G1.

[6] YUAN H B, GUANG W, YANG F. Time service through BD GEO satellites[C]//Proceedings of Joint European Frequency and Time Forum & International Frequency Control Symposium, 2013: 496-500.

[7] GUANG W, YUAN H B, DONG S W, et al. The evaluation of BeiDou time transfer performance[C]//Proceedings of IEEE International Frequency Control Symposium, 2016: 1-4.

[8] ZHANG P F, TU R, GAO Y P, et al. Study of time link calibration based on GPS carrier phase observation[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2018, 12(11): 1330-1335.

[9] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件公开服务信号 B1C、B2a(测试版)[R/OL]. (2017-09-05)[2020-05-21]. http://www.beidou.gov.cn/yw/gfgg/201712/W020171017547611953914.pdf.
China Satellite Navigation Office. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signals B1C and B2a (test version)[R/OL]. (2017-09-05)[2020-05-21]. http://www.beidou.gov.cn/yw/gfgg/201712/W020171017547611953914.pdf. (in Chinese)

[10] GUO F, ZHANG X H, WANG J L. Timing group delay and differential code bias corrections for BeiDou positioning[J].

Journal of Geodesy, 2015, 89(5): 427 - 445.

[11] GUANG W, DONG S W, WU W J, et al. Progress of BeiDou time transfer at NTSC[J]. Metrologia, 2018, 55(2): 175 - 187.

[12] 杨旭海, 胡永辉, 李志刚, 等. GPS 近实时共视观测资料处理算法研究[J]. 天文学报, 2003, 44(2): 204 - 214.
YANG Xuhai, HU Yonghui, LI Zhigang, et al. On the algorithm of processing observation datum of GPS common-view in near real-time[J]. Acta Astronomica Sinica, 2003, 44(2): 204 - 214. (in Chinese)

[13] 程全, 樊宇. 两种导航系统在定位系统中的研究与分析[J]. 科技通报, 2012, 28(8): 48 - 49.
CHENG Quan, FAN Yu. Research and analysis of the two navigation systems in positioning combined[J]. Bulletin of Science and Technology, 2012, 28(8): 48 - 49. (in Chinese)

[14] 夏金伟, 赵东保. GPS 接收机多路径性能分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(8): 43 - 44.
XIA Jinwei, ZHAO Dongbao. The analysis of multi-path performance of GPS receiver[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2012, 35(8): 43 - 44. (in Chinese)

[15] 来凯. 多模 GNSS 精密单点定位技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
LAI Kai. Research on multi-GNSS precise point positioning technology surveying and mapping engineering[D]. Xi′an: Xi′an University of Science and Technology, 2019. (in Chinese)

[16] 任嵩. GPS 和气压高度表在试飞时测高的精度比较[J]. 航空计算技术, 2019, 49(2): 43 - 45.
REN Song. Comparison of precision in altitude measurement between GPS and barometric altimeter[J]. Aeronautical Computing Technique, 2019, 49(2): 43 - 45. (in Chinese)

[17] ZHANG X H, WU M K, LIU W K, et al. Initial assessment of the COMPASS/BeiDou-3: new-generation navigation signals[J]. Journal of Geodesy, 2017, 91(10): 1225 - 1240.

[18] 张小红, 丁乐乐. 北斗二代观测值质量分析及随机模型精化[J]. 武汉大学学报 · 信息科学版, 2013, 38(7): 832 - 836.
ZHANG Xiaohong, DING Lele. Quality analysis of the second generation COMPASS observables and stochastic model refining[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(7): 832 - 836. (in Chinese)

[19] 张继海, 广伟, 袁海波, 等. 北斗测距信号评估与精密单点定位应用研究[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(11): 2707 - 2714.
ZHANG Jihai, GUANG Wei, YUAN Haibo, et al. Study on range signal evaluation and precise point positioning application of BeiDou navigation satellite system (BDS)[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38(11): 2707 - 2714. (in Chinese)

[20] JIANG Z, CZUBLA A, NAWROCKI J, et al. Towards accurate optical fibre time transfer in UTC[C]//Proceedings of European Frequency and Time Forum, 2014: 231 - 234.

[21] JIANG Z, PETIT G, ARIAS F, et al. BIPM calibration scheme for UTC time links—BIPM pilot experiment to strengthen Asia-Europe very long baselines[C]// Proceedings of Joint Conference of the IEEE International Frequency Control and the European Frequency and Time Forum, 2011: 1 - 6.

[22] 王威雄, 董绍武, 武文俊, 等. 卫星双向时间传递链路校准及其不确定度分析[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(12): 64 - 72.
WANG Weixiong, DONG Shaowu, WU Wenjun, et al. Link calibration of two-way satellite time and frequency transfer and its uncertainty analysis[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(12): 64 - 72. (in Chinese)