

# 基于CGGTTS的北斗3号系统时间性能评估\*

郭 栋<sup>1,2</sup> 董绍武<sup>1,2,3†</sup> 武文俊<sup>1,2,3</sup> 王威雄<sup>1,2</sup> 张 健<sup>1,2</sup>  
袁海波<sup>1,2,3</sup>

(1 中国科学院国家授时中心 西安 710600)

(2 中国科学院时间频率基准重点实验室 西安 710600)

(3 中国科学院大学天文与空间科学学院 北京 100049)

**摘要** 依据国际时间频率咨询委员会(Consultative Committee for Time and Frequency, CCTF) GNSS (Global Navigation Satellite System)时间比对工作组制定的时间传递标准(Common GNSS Generic Time Transfer Standard Version2E, CGGTTS\_V2E), 针对GNSS接收机观测到的伪距信号开发了数据处理软件, 用于生成标准格式的CGGTTS文件, 并对其可靠性进行了验证. 结果表明, 与sbf2cggts软件生成的CGGTTS文件相比, 在同一历元下, 分别利用相同GPS和BeiDou-2卫星观测值计算的星地钟差值基本一致, 互差绝对值不超过0.5 ns的差值分别占总数的96%、94%. 以中国标准时间UTC(NTSC) (Coordinated Universal Time (National Time Service Center))为参考, 利用数据处理软件分别对BeiDou-2和BeiDou-3卫星的B1I和B3I双频消电离层组合观测值处理并生成标准格式的CGGTTS文件, 通过分析其星地钟差参数对BeiDou系统时间的性能进行评估. 结果表明, 与BeiDou-2相比, BeiDou-3系统时间的内符合精度提高约28%, 且1 d以上中长期频率稳定度明显优于BeiDou-2.

**关键词** 数据处理软件, CGGTTS文件, BeiDou系统时间, 内符合精度, 稳定性

中图分类号: P128; 文献标识码: A

## 1 引言

全球各大卫星导航系统都拥有自己独立的时间系统, 维持稳定、可靠的系统时间是卫星导航系统向用户提供高精度导航、定位和授时(PNT)服务的基础<sup>[1-3]</sup>, 故对GNSS (Global Navigation Satellite System)的系统时间性能评估具有重要的工程和科研价值. 北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System, BDS)的时间系统为BDT (BeiDou Navigation Satellite System Time), 以国际单位制(SI)秒为基本单位, 连续累计且不闰秒. 按照“三步走”的发展战略, 目前北斗卫星导航系统的建设已进入决战决胜

2020-02-18收到原稿, 2020-04-08收到修改稿

\*国家自然科学基金项目(11703030)资助

†sdong@ntsc.ac.cn

的冲刺阶段, 预计2020年将全面建成BeiDou全球系统, 其服务范围从亚太地区扩展到全球<sup>[4]</sup>. BeiDou-3卫星采用了更高性能的星载铷原子钟和氢原子钟, 天稳定度分别可达 $10^{-14}$ 和 $10^{-15}$ 量级, 比BeiDou-2星载原子钟高一个数量级<sup>[4-5]</sup>.

BDT通过我国国家标准时间UTC(NTSC) (Coordinated Universal Time (National Time Service Center))与国际标准时间—协调世界时(UTC)取得联系<sup>[3]</sup>, 因此文献[3]中借助UTC(NTSC)将BDT溯源到UTC, 通过分析UTC-BDT的值评估BeiDou的系统时间性能. 还有文献中将UTC(NTSC)作为BDT的溯源参考, 通过分析UTC(NTSC)-BDT的值来评估BeiDou的系统时间性能. 为此, 文献[1-2]通过建立北京卫星导航中心(BSNC)与国家授时中心(NTSC)之间的BeiDou共视比对链路计算UTC(NTSC)-BDT的值; 文献[6]以UTC(NTSC)频率信号为参考, 通过对授时型接收机观测到的北斗伪距信号处理解得UTC(NTSC)-BDT; 在国际频率咨询委员会(Consultative Committee for Time and Frequency, CCTF)最新制定的扩展版的GNSS时间传递标准(Common GNSS Generic Time Transfer Standard Version2E, CGGTTS\_V2E)中也对该时差值的计算方法做了详细的介绍<sup>[6-7]</sup>, 用参数REFSYS表示, 代表各星所实现的系统时间与地面参考站之间的钟差. 该值与使用的导航系统星座和接入GNSS接收机内的时频参考信号UTC( $k$ )有关, 其中 $k$ 代表参加UTC计算的实验室, 因此其可用于对GNSS系统时间的性能评估.

近些年, 许多国内外研究学者根据CCTF制定的CGGTTS\_V2E, 针对多模多频接收机的RINEX (Receiver Independent Exchange)数据文件开发了向CGGTTS归算转化的数据处理软件, 用于生成标准的CGGTTS文件, 其中包括比利时国立天文台(ORB)开发的R2CGGTTS软件、中国科学院国家授时中心开发的Rinex2CGGTTS软件和Septentrio接收机内置的sbf2cggts软件等<sup>[8-11]</sup>. 目前部分多模多频GNSS接收机经软硬件升级后已经可接收到BeiDou-3卫星的信号, 但是上述软件均不能对RINEX文件中BDS-3卫星的观测值正常处理. 针对此不足, 本文利用自主设计开发的数据处理软件生成了GPS (Global Positioning System)和BeiDou的CGGTTS标准文件, 并与sbf2cggts软件的GPS和BeiDou-2处理结果进行了比对验证. 最后, 以UTC(NTSC)作为时间基准, 通过分析标准CGGTTS数据文件中用BeiDou卫星观测值计算的REFSYS参数值分别对BDS-2、BDS-3的BDT性能进行了评估.

## 2 数学模型

### 2.1 星地钟差参数REFSYS的计算原理与过程

CGGTTS是国际时间比对的标准文件之一, 其中的星地钟差参数(REFSYS)不仅是时间比对的关键, 而且可用于GNSS系统时间性能评估. 计算任一时刻星地钟差值的基本原理就是将本地钟的时频参考信号UTC( $k$ )接入GNSS时频接收机, 在获得的伪距观测值中有效扣除星地几何距离及电离层、对流层等各项误差所引起的测距时延. 下面将具体给出在一个周期内, 利用单颗卫星的伪距观测值计算REFSYS值的过程:

(1)以16 min为一个周期跟踪某颗卫星, 前2 min用于捕获卫星, 13 min采集数据, 最后1 min处理数据<sup>[12-13]</sup>. 假设接收机的采样周期为30 s, 则共可采集26组观测值;

(2)建立伪距观测方程, 采用单频或双频伪距消电离层组合的方式解算任一观测时刻本地钟与星载原子钟的时差, 具体计算见(1)-(3)式;

单频解算:

$$\begin{aligned} \text{Srefsv} &= t_{\text{clock}} - t_{\text{sat}} \\ &= \frac{1}{c} [\bar{P}_i - \|\vec{x}_{\text{sat}} - \vec{x}_{\text{rec},i}\| - s] + \Delta t_{\text{rel}} - \Delta t_{\text{iono},i} - \Delta t_{\text{tropo}} - \text{GD}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中, Srefsv为任意时刻利用卫星单频伪距观测值计算的本地钟与星载原子钟的时差,  $t_{\text{clock}}$ 、 $t_{\text{sat}}$ 分别表示本地钟与卫星钟;  $c$ 为真空中的光速,  $\bar{P}_i$ 为扣除系统时延后频率 $f_i$ 的伪距观测值, 下角标“ $i$ ”代表频率编号;  $\vec{x}_{\text{sat}}$ 、 $\vec{x}_{\text{rec},i}$ 分别表示卫星和接收机天线在国际地球参考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)下的3D坐标;  $s$ 为与地球自转相关的Sagnac效应,  $\Delta t_{\text{rel}}$ 为相对论改正项,  $\Delta t_{\text{iono},i}$ 为电离层时延,  $\Delta t_{\text{tropo}}$ 为对流层时延, GD为星上设备时延<sup>[14-19]</sup>.

双频消电离层组合解算:

$$\begin{aligned} \text{Drefsv} &= t_{\text{clock}} - t_{\text{sat}} \\ &= \frac{1}{c} [\bar{P}_{\text{IF}} - \|\vec{x}_{\text{sat}} - \vec{x}_{\text{rec, IF}}\| - s] + \Delta t_{\text{rel}} - \Delta t_{\text{tropo}} - \text{GD}, \end{aligned} \quad (2)$$

式中, Drefsv为任意时刻利用卫星双频无电离层伪距组合观测值计算的本地钟与星载原子钟的时差,  $\bar{P}_{\text{IF}}$ 为扣除系统时延后的双频伪距组合观测值.

$$\bar{P}_{\text{IF}} = \alpha_{ij} \bar{P}_i + (1 - \alpha_{ij}) \bar{P}_j, \quad (3)$$

式中,  $\alpha_{ij} = \frac{f_i^2}{f_i^2 - f_j^2}$ , 为双频消电离层组合系数;  $f_i$ 、 $f_j$ 均表示观测值频率.

(3)计算任一时刻的星地钟差值Refsys. 用(2)或(3)式计算的时差值加上对应时刻的卫星钟差即可获得该时刻本地钟与卫星系统时间的时差, 见(4)式:

$$\text{Refsys} = t_{\text{clock}} - t_{\text{ref}} = (t_{\text{clock}} - t_{\text{sat}}) + \Delta t_{\text{sat}}, \quad (4)$$

式中,  $t_{\text{ref}}$ 为卫星系统时间,  $\Delta t_{\text{sat}}$ 为卫星钟与卫星系统时间的时差, 可通过广播星历参数求得.

(4)重复步骤(2)–(3), 可依次计算出该周期内各时刻的星地钟差Refsys( $k$ ) ( $k = 1, 2, \dots, 26$ );

(5)对步骤(4)求出的26个Refsys值进行最小二乘线性拟合, 然后取中间时刻所对应的值作为CGGTTS文件中对应时标处的REFSYS参数值.

(1)、(2)式中涉及到的电离层、对流层等时延估算模型及CGGTTS文件中其余参数的详细计算过程可参考文献[6].

## 2.2 3 sigma法则剔除粗差

3 sigma法则可用于数据中异常值的检测. 由于观测信号可能受卫星运行状况、外界环境、仪器设备等因素的影响, 在按2.1节对卫星观测数据处理的结果中含有粗差, 这将会影响系统时间性能评估的精度. 因此, 在评估前需对粗差值进行检测并剔除. 下面将给出用3 sigma法则剔除粗差的基本理论.

假设某观测值中仅含有随机误差且服从正态分布, 当观测次数足够多时, 可将该随机误差正态分布曲线下的面积认为是所有误差出现的概率, 即

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\delta^2/(2\sigma^2)} d\delta = 1, \quad (5)$$

式中,  $\sigma$ 为观测值中误差,  $e$ 为自然对数底,  $\delta$ 为误差值, 则随机误差落在 $-\delta$ 至 $+\delta$ 范围内的概率为<sup>[20]</sup>:

$$p(\pm\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\delta}^{+\delta} e^{-\delta^2/(2\sigma^2)} d\delta = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\delta} e^{-\delta^2/(2\sigma^2)} d\delta, \quad (6)$$

令 $\delta = t\sigma$ , 代入(6)式得:

$$p(\pm\delta) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt = 2\Phi(t), \quad (7)$$

式中,  $\Phi(t)$ 为标准正态分布函数, 其值可查表获得.

当 $t = 3$ 时,  $\delta = 3\sigma$ , 利用(7)式可计算得 $p(\pm 3\sigma) = 99.73\%$ . 因此, 可认为绝对值大于 $3\sigma$ 的误差是不可能出现的, 通常称 $3\sigma$ 值为极限误差. 当测量误差的绝对值大于极限误差时, 则视为粗差需予以剔除.

### 3 数据处理与分析

#### 3.1 CGGTTS软件评估

为验证所开发的数据处理软件的可靠性, 将UTC(NTSC)时频参考信号接入高精度GNSS接收机, 并设置其采样间隔为30 s, 表1已给出本次试验所使用接收机的详细配置信息. 选用2019-08-19—2019-08-26(简化儒略日MJD: 58714—58721)期间利用多模多频接收机NTP3采集的GPS和BeiDou卫星的RINEX观测数据. 利用研发的数据处理软件和NTP3接收机内置的sbf2cggts软件分别对GPS和BeiDou卫星的观测值利用双频电离层组合的方式处理, 依据不同的星座生成标准的CGGTTS文件.

表 1 接收机配置信息

Table 1 Receiver configuration information

Receiver code	Receiver type	Antenna type
NTP3	PolaRx4TR	SEPCHOKE_MC
NT02	GTR55	NOV850

将CGGTTS文件中REFSYS参数值中的粗差经3 sigma法则剔除后, 分别对同一时段下利用同一颗卫星观测数据计算的REFSYS参数值进行比较, 差值结果见图1, 其统计结果见表2. 由于用sbf2cggts软件生成的CGGTTS文件中没有BeiDou-3卫星相关参数的计算结果, 所以图1和表2中仅对GPS和BeiDou-2卫星的REFSYS值进行了比较, 其差值为 $\Delta$ REFSYS. 由图1、表2可知, 两软件计算的REFSYS值一致性较好, 证明利用开发的软件处理GPS、BeiDou卫星观测数据所生成的标准CGGTTS文件是有效、可靠的, 可用于系统时间性能评估.

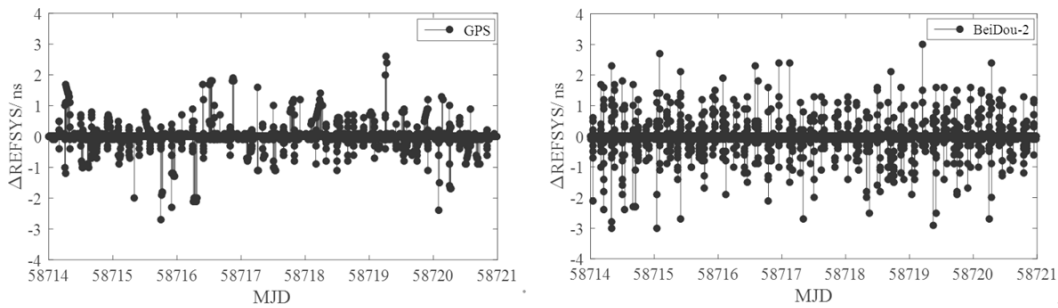


图1 两软件计算的REFSYS参数值的差

Fig. 1 Difference of REFSYS parameter values calculated by two softwares

表2 两软件计算的REFSYS参数值的差值统计结果

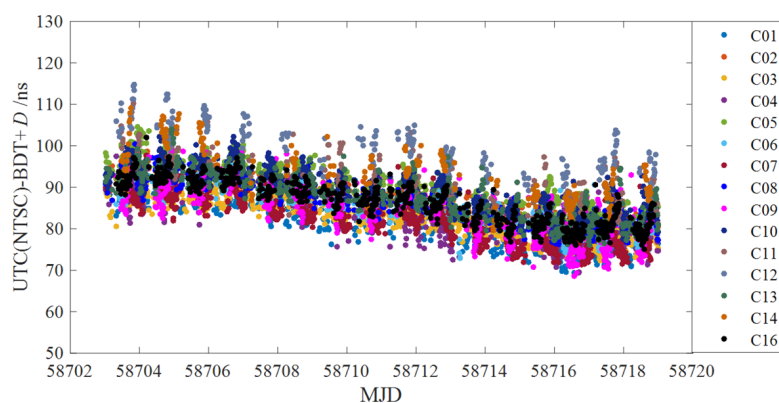
Table 2 The statistical results of the difference of REFSYS parameter values calculated by two softwares

Receiver code	$ \Delta\text{REFSYS}  \leq 0.5 \text{ ns}$
NTP3	96%
NT02	94%

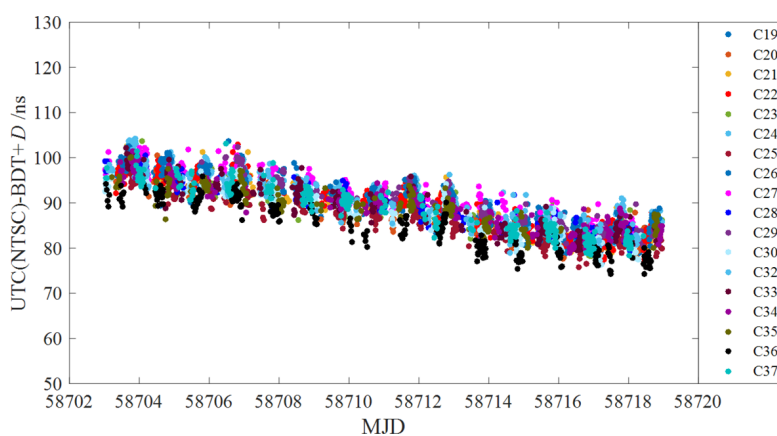
### 3.2 BeiDou系统时间性能评估与分析

选取2019年8月8日至2019年8月23日(MJD: 58703—58718)在NTSC用NT02接收机获取的BeiDou卫星观测数据. 由于NT02能接收到BeiDou-2和BeiDou-3卫星的公共频点信号B1I和B3I, 故利用开发的软件对BeiDou卫星的B1I和B3I双频消电离层组合观测值进行了处理, 生成标准格式的CGGTTS文件. 由于接收机中的北斗通道未被校准, 故文件中REFSYS参数的计算结果是一个相对值, 用 $\text{UTC}(\text{NTSC})-\text{BDT}+D$ 表示, 其中 $D$ 代表接收机的系统时延, 其值与观测值频率有关. 图2 (a)、2 (b)分别给出了利用BeiDou-2和BeiDou-3卫星观测值计算的 $\text{UTC}(\text{NTSC})-\text{BDT}+D$ 的值. 可明显看出, 在同一时间段内, 用BeiDou-3卫星观测值计算的 $\text{UTC}(\text{NTSC})-\text{BDT}+D$ 值的一致性要优于用BeiDou-2卫星观测值的计算结果.

在用(2)–(4)式计算 $\text{UTC}(\text{NTSC})-\text{BDT}+D$ 值时, 其结果会受星历误差、多路径误差、接收机端测量误差等因素的影响. 其中多路径误差的大小与卫星高度角有关, 卫星高度角越小, 该误差越大<sup>[21]</sup>. 由于在同一周期内NT02接收机能观测到多颗BeiDou卫星, 则可根据各卫星高度角的大小定权, 用各可视卫星观测值计算的 $\text{UTC}(\text{NTSC})-\text{BDT}+D$ 值的加权平均值作为该周期对应时标下的最终结果. 图3中黄线分别给出各时刻用BeiDou-2和BeiDou-3卫星观测值计算的 $\text{UTC}(\text{NTSC})-\text{BDT}+D$ 的加权平均值. 图4和表3分别给出了两条加权平均曲线的Allan偏差及其统计值,  $\tau$ 为采样间隔. 由图4、表3可知, 在1 d内BeiDou-2和BeiDou-3系统时间的稳定性基本相当; 但是1 d后, BeiDou-3系统时间的稳定度明显优于BeiDou-2.



(a) BeiDou-2 satellites



(b) BeiDou-3 satellites

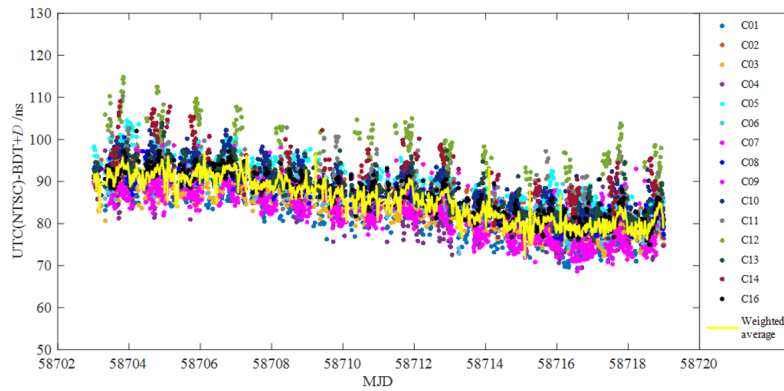
图 2 UTC(NTSC)与BeiDou系统时间的差(未校准)

Fig. 2 Difference between UTC(NTSC) and BeiDou system time (uncalibrated)

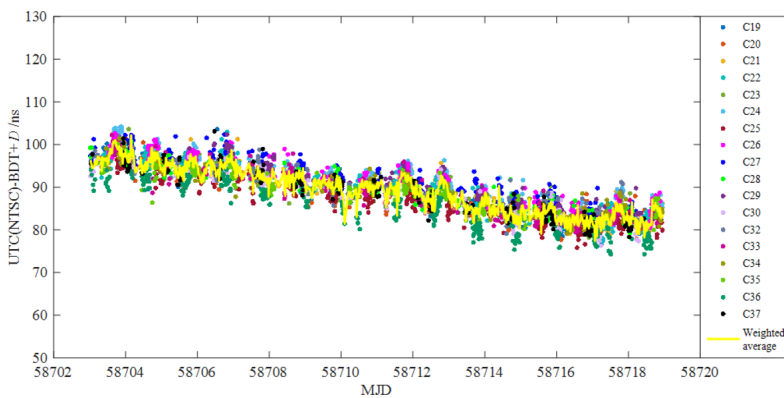
表 3 BeiDou-2和BeiDou-3加权平均曲线的Allan偏差统计

Table 3 Allan deviation statistics of the weighted average curves of BeiDou-2 and

BeiDou-3		
Tau/s	BeiDou-2	BeiDou-3
960	$2.28 \times 10^{-12}$	$1.96 \times 10^{-12}$
1920	$1.13 \times 10^{-12}$	$1.01 \times 10^{-12}$
3840	$5.72 \times 10^{-13}$	$5.96 \times 10^{-13}$
7680	$3.16 \times 10^{-13}$	$3.25 \times 10^{-13}$
14500	$1.84 \times 10^{-13}$	$2.12 \times 10^{-13}$
30700	$1.16 \times 10^{-13}$	$1.01 \times 10^{-13}$
61400	$5.35 \times 10^{-14}$	$5.13 \times 10^{-14}$
123000	$4.48 \times 10^{-14}$	$2.11 \times 10^{-14}$



(a) BeiDou-2 satellites



(b) BeiDou-3 satellites

图 3 UTC(NTSC)与BeiDou系统时间的差(未校准)及其加权平均值

Fig. 3 Difference between UTC(NTSC) and BeiDou system time (uncalibrated) and its weighted average

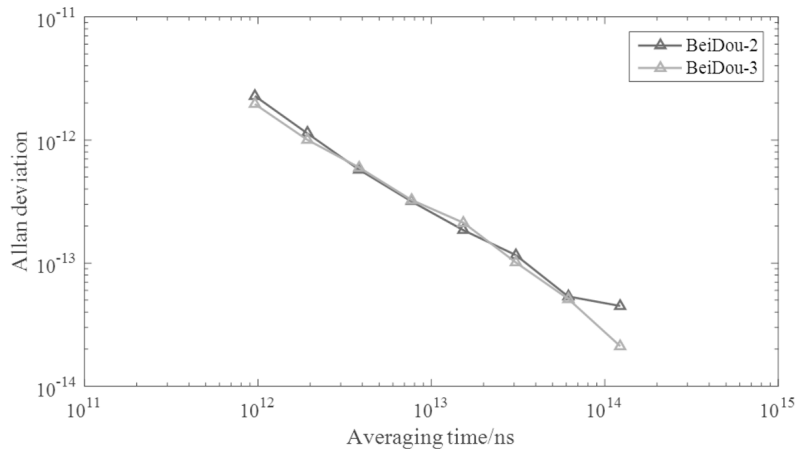


图 4 两条加权平均曲线的Allan偏差值

Fig. 4 Allan deviation values of two weighted average curves

以加权平均曲线为参考, 分别计算BeiDou-2和BeiDou-3卫星在各时标下的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值相对加权平均值的偏差, 其RMS (Root Mean Square)值的计算方法如下:

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^n \sum_{j=1}^{m_h} (X_{hj} - \bar{X}_j)^2}{\sum_{h=1}^n m_h}}, \quad (8)$$

式中, RMS为某时间段内用BeiDou卫星伪距观测值计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的内符合精度;  $X_{hj}$ 代表第 $h$ 颗BeiDou卫星在第 $j$ 个观测周期计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值,  $\bar{X}_j$ 表示在第 $j$ 个周期计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的加权平均值;  $n$ 为总的卫星个数,  $m_h$ 为第 $h$ 颗卫星总的观测周期数.

表4已统计出BeiDou-2和BeiDou-3系统时间的RMS值, 与BeiDou-2相比BeiDou-3系统时间的内符合精度提升约28%.

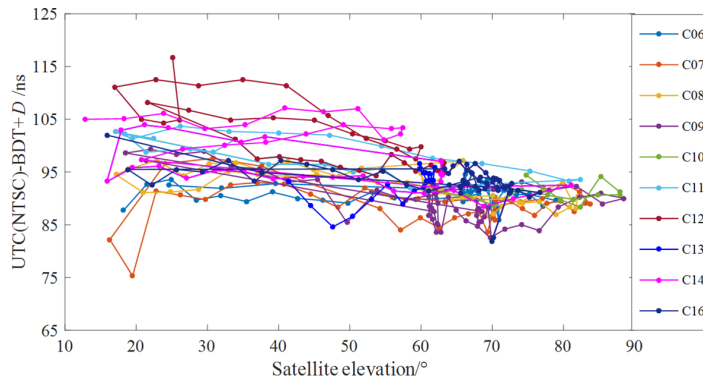
表 4 BeiDou-2和BeiDou-3系统时间的内符合精度  
Table 4 Internal precision of system time of BeiDou-2 and BeiDou-3

BeiDou system	RMS/ns
BeiDou-2	3.2
BeiDou-3	2.3

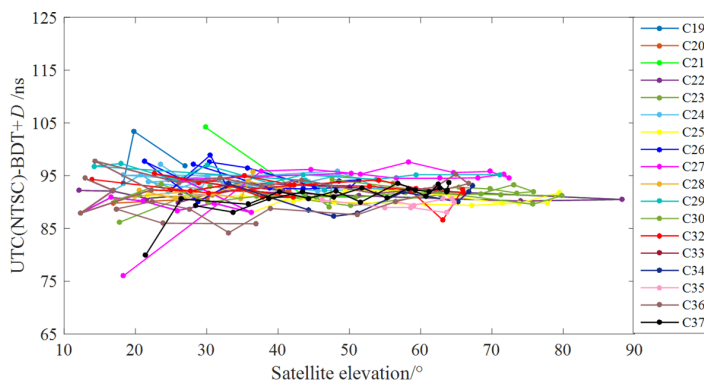
为了进一步证明卫星高度角大小与计算UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值有关, 图5 (a)、5 (b)分别给出某天中BeiDou-2和BeiDou-3卫星在不同高度角下所对应的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的计算结果. 由于C01-C05均为BeiDou-2系统的地球同步轨道(Geosynchronous Earth Orbit, GEO)卫星, 在对其观测过程中高度角变化不大, 所以图5 (a)中没做统计. 对比图5 (a)、5 (b)可明显看出, 随着卫星高度角的增加, 分别利用BeiDou-2、BeiDou-3卫星观测值计算的结果一致性均有所提高, 说明依据卫星高度角大小定权是可行的.

从图5 (a)、5 (b)还可看出, 在任一高度角范围内, 利用BeiDou-3卫星观测值计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的一致性要好于BeiDou-2卫星观测值的计算结果. 为进一步验证此结论, 以各时刻计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 的加权平均值作为参考, 表5给出了观测期间(MJD: 58703-58718) BeiDou卫星在各高度角范围内计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值与参考值差的RMS. 由表5可知, 在任意高度角范围内, 利用BeiDou-3卫星观测值计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的内符合精度均高于用BeiDou-2卫星观测值的计算结果, 最大相差5.06 ns, 最小相差1.11 ns. 针对此结果, 图6、图7分别统计了在NTSC利用NT02接收机在同一周期内能观测到BeiDou-2和BeiDou-3卫星的个数及其所跟踪卫星仰角的高低情况. 由图6、图7可知, 由于BeiDou-2系统包含GEO卫星, 所以在同一时刻观测到的BeiDou-2卫星数目较多, 约9-11颗, 而能观测到BeiDou-3卫星的数目相对较少, 只有3-5颗, 两者相差近一半; 此外, 在仰角大于 $50^\circ$ 的范围内, 能观测到BeiDou-2卫星的比例也略高于BeiDou-3卫星, 分别各占总数的50.4%和45.1%. 综上分析, 上述结果可能是由于BeiDou-3卫星采用了更高性能的星载原子钟导致的.





(a) BeiDou-2 satellites



(b) BeiDou-3 satellites

图 5 计算的UTC(NTSC)-BDT+D值随卫星高度角的变化

Fig. 5 The calculated values of UTC(NTSC)-BDT+D changes with the satellites altitude angle

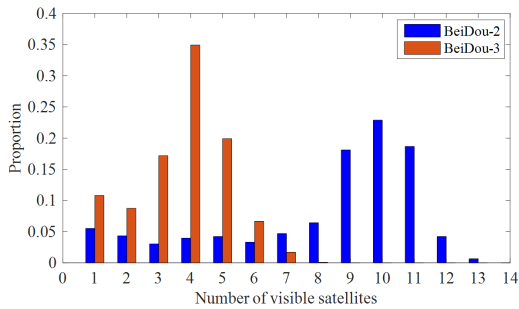


图 6 同一周期内NT02接收机在NTSC可观测到的BeiDou卫星数统计

Fig.6 Statistics of the number of BeiDou satellites observed by NT02 receiver at NTSC in the same period

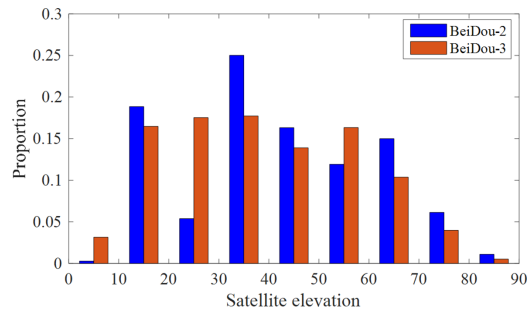


图 7 NT02接收机在NTSC可观测到的BeiDou卫星的高度角统计

Fig.7 Altitude angle statistics of BeiDou satellites observed by NT02 receiver at NTSC

表 5 各高度角范围内用BeiDou卫星观测值计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值相对其加权平均值差值的RMS统计

Table 5 RMS statistics of the difference between the values of UTC(NTSC)-BDT+ $D$  calculated by BeiDou satellite observation values and its weighted average values in each altitude angle range

Satellite elevation	BeiDou-2 RMS/ns	BeiDou-3 RMS/ns	$\Delta$ RMS/ns
10°–20°	8.26	4.08	4.18
20°–30°	8.00	2.94	5.06
30°–40°	6.62	2.39	4.23
40°–50°	5.77	2.19	3.58
50°–60°	4.91	1.99	2.92
60°–70°	3.73	2.05	1.68
70°–80°	2.92	1.69	1.23
80°–90°	2.74	1.63	1.11

## 4 结论

针对用现有CGGTTS软件对BeiDou-3卫星观测信号处理结果中存在的问题, 根据CCTF制定的GNSS时间传递标准, 开发了数据处理软件. 以sbf2cggts软件分别对GPS和BeiDou-2卫星观测数据的处理结果为参考, 用所开发软件的处理结果与其进行了比较验证; 并利用该软件生成的标准CGGTTS文件对BeiDou-3的系统时间性能进行了评估, 现得到如下结论:

(1)用开发的数据处理软件和sbf2cggts软件生成的CGGTTS文件中REFSYS参数值的计算结果基本一致. 比较7 d的计算结果可知, 用相同GPS和BeiDou-2卫星观测值计算的REFSYS参数值基本一致, 互差绝对值小于0.5 ns的数值分别占总数的96%、94%, 证明所开发的数据处理软件是有效、可靠的;

(2)以各时刻计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的加权平均值为参考, BeiDou-2系统时间的内符合精度为3.2 ns, BeiDou-3系统时间的内符合精度为2.3 ns, 相比BeiDou-2系统提高约28%. 在1 d内, BeiDou-2和BeiDou-3系统时间的稳定性基本相当; 超过1 d后, BeiDou-3系统时间的稳定度明显优于BeiDou-2;

(3)在BeiDou-3卫星可视数较少的情况下, 同一高度角范围内利用BeiDou-3卫星观测值计算的UTC(NTSC)-BDT+ $D$ 值的内符合精度均优于BeiDou-2卫星, 这可能是由于在BeiDou-3卫星上搭载了更高性能的铷原子钟和氢原子钟.

## 参 考 文 献

- [1] Wang X L, Du Y. Journal of Physics: Conference Series, 2018
- [2] 布金伟, 左小清, 常军, 等. 天文学报, 2018, 59: 70
- [3] 朱峰. 卫星导航中的时间参数及其测试方法. 西安: 中国科学院研究生院(国家授时中心), 2015
- [4] Yang Y X, Gao W G, Guo S R, et al. Navig, 2019: 1
- [5] 杨元喜, 许扬胤, 李金龙, 等. 中国科学: 地球科学, 2018, 48: 584
- [6] Defraigne P, Petit G. Metro, 2015, 52: G1
- [7] Wu W J, Guan W, Bauch A, et al. Proceedings of the 2018 Precise Time and Time Interval Meeting, Reston, January 29-February 1, 2018
- [8] Defraigne P, Verhasselt K. Multi-GNSS Time Transfer with CGGTTS-V2E. Proceedings of 2018 European Frequency and Time Forum (EFTF), Turin, April 10-12, 2018: 270
- [9] Bauch A, Piester D, Polewka T, et al. Proceedings of the 2019 Precise Time and Time Interval Meeting, Reston, January 29, 2018: 3
- [10] Huang W, Defraigne P. ITUFF, 2016, 63: 1005
- [11] Jaldehag K, Jarlemark P, Rieck C. Further Evaluation of CGGTTS Time Transfer Software. Proceedings of 2019 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium and European Frequency and Time Forum, Orlando, April 14-18, 2019: 1
- [12] 陈瑞琼, 刘娅, 李孝辉. 仪器仪表学报, 2016, 37: 757
- [13] 郑敏. 基于北斗卫星的时间量值传递系统的设计与实现. 北京: 北京工业大学, 2016
- [14] 李征航, 黄劲松. GPS测量与数据处理. 3版. 武汉: 武汉大学出版社, 2016
- [15] 武文俊, 广伟, 张继海, 等. 时间频率学报, 2018, 41: 200
- [16] Liu Y H, Li X H, Zhang H J, et al. GPS Solutions, 2016, 20: 461
- [17] 胡丽乐, 向泽华, 胡焕校, 等. 全球定位系统, 2014, 39: 15
- [18] 李征航, 龚晓颖. 测绘信息与工程, 2012, 37: 51
- [19] Guo F, Zhang X H, Wang J L. JGeod, 2015, 89: 427
- [20] 张继海, 武文俊, 广伟, 等. 仪器仪表学报, 2018, 39: 96
- [21] Guang W, Dong S W, Wu W J, et al. Metro, 2018, 55: 175

## The Performance Evaluation of BeiDou-3 Time Based on CGGTTS

GUO Dong<sup>1,2</sup> DONG Shao-wu<sup>1,2,3</sup> WU Wen-jun<sup>1,2,3</sup> WANG Wei-xiong<sup>1,2</sup>  
ZHANG Jian<sup>1,2</sup> YUAN Hai-bo<sup>1,2,3</sup>

(1 National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600)  
(2 Key Laboratory of Time and Frequency Primary Standards, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600)  
(3 School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**ABSTRACT** According to the Common GNSS Generic Time Transfer Standard Version2E (CGGTTS\_V2E) developed by the GNSS (Global Navigation Satellite System) Working Group of the International Consultative Committee for Time and Frequency (CCTF), the data processing software is developed by using the pseudorange signal measured by the GNSS receiver, which is used to generate the CGGTTS files in the standard format, and its reliability is verified. The results show that, compared with the CGGTTS files generated by sbf2cggts software, the offset between the GNSS system time and local time scale calculated by the same GPS and BDS satellite observations in

the same epoch is identical, and the difference with the absolute value of the difference less than 0.5 ns accounts for 96% and 94% of the total, respectively. Taking Chinese standard time UTC(NTSC) (Coordinated Universal Time (National Time Service Center)) as the reference time scale, the data processing software is used to process the observations of the B1I and B3I dual-frequency ionospheric combination of BeiDou-2 and BeiDou-3 satellites, and generate the CGGTTS files in the standard format, and the performance of BeiDou system time is evaluated by analyzing the parameter of offset between the GNSS system time and local time scale. The results show that, compared with BeiDou-2, the internal precision of BeiDou-3 system time is increased by about 28%, and the frequency stability of medium and long-term is obviously better than BeiDou-2 after one day.

**Key words** data processing software, CGGTTS, BeiDou system time, internal precision, stability