

基于实时性和数据使用率改进的 CGGTTS 算法研究

郝爽雨^{1,2,3}, 毕红军¹, 梁 坤^{1,3}

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044; 2. 浙江省医疗器械检验研究院, 浙江 杭州 310018; 3. 中国计量科学研究院 时间频率计量科学研究所, 北京 100029)

摘要: 对 GNSS 时间频率传递数据标准格式 CGGTTS 进行改进, 包括: 将数据周期内全部测量数据用于计算时差值, 提高测量数据使用率; 为满足时间传递用户对于数据实时性的更高要求, 缩短 CGGTTS 数据周期以提高数据实时性。实验结果表明将数据使用率提高到 100% 后, 可以降低比对结果噪声, 噪声性能最大可改善 6%。当将数据间隔缩短至 5 min 后, 数据实时性最大提高至 69%, 噪声性能恶化 17% 以上。分析不同间隔文件的实时性、标准差、数据量及运算量情况, 得到当数据间隔在 8 至 13 min 时, 改进的 CGGTTS 算法共钟差实验噪声水平保持在 (0.70 ~ 0.80) ns, 长基线实验噪声水平保持在 (0.75 ~ 0.83) ns, 是一种折中选择。

关键词: 计量学; CGGTTS; 时间传递; 数据间隔; 实时性

中图分类号: TB939

文献标识码: A

文章编号: 1000-1158(2022)03-0547-07

Study on Modified CGGTTS Algorithm Based on Real-time Performance and Data Utilization Rate

HAO Shuang-yu^{1,2,3}, BI Hong-jun¹, LIANG Kun^{1,3}

(1. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Zhejiang Institute of Medical Device Testing, Hangzhou, Zhejiang 310018, China; 3. Division of Time and Frequency Metrology, National Institute of Metrology, Beijing 100029, China)

Abstract: To avoid waste of measurement data, the GNSS time-frequency transfer data standard format CGGTTS has been improved. The improvement mainly includes: using all the measurement data in the data period to calculate the time difference values to improve the utilization rate of the measurement data. At the same time, in order to meet the higher requirements of time transfer users for real-time data, the CGGTTS data period is shortened to improve the performance of real-time. The experimental results show that when the data usage rate is increased to 100%, the noise of the comparison results can be reduced, and the noise performance can be improved by up to 6%. After shortening the data interval to 5 minutes, the real-time performance of the data is increased to 69%, and the noise performance deteriorates by more than 17%. Analyze the real-time performance, standard deviation, data volume, and calculation volume of files at different intervals, and it is obtained that when the data interval is between 8 and 13 minutes, the improved CGGTTS algorithm keeps the noise level of the common clock difference experiments at (0.70 ~ 0.80) ns, and the noise level of the long baseline experiments at (0.75 ~ 0.83) ns, which is a compromise choice.

Key words: metrology; CGGTTS; time transfer; data intervals; real-time

1 引 言

时间频率传递通过时间频率源之间的比对, 进行时间和频率量值的传递, 是各时间频率基准、标准和终端用户内部比对及相互联系的桥梁。时间频率

传递可通过多种技术实现^[1~4], 其中 GNSS (global navigation satellite system) 时间频率传递技术应用最为广泛^[5~8]。

为统一 GNSS 时间频率传递的数据格式, GPS (global positioning system, 全球定位系统) 时间传递标准组 GGTTS (the group on GPS time transfer

standards) 发布了 GPS 共视法标准数据格式^[9], 规定了接收机的数据处理方法、数据格式、跟踪时刻表的排列等。该标准仅支持 GPS 卫星系统, 之后又制定了兼容 GPS 及 GLONASS (global navigation satellite system, 格洛纳斯卫星导航系统) 系统的 CGGTTS (common generic GNSS time transfer standard, 全球卫星导航时间传递标准) V02 版本^[10], 截至目前已扩展为支持多卫星系统的 GNSS 通用时间传递标准版本 2E (CGGTTS V2E)^[11~13]。在不同版本中, 数据周期均规定为 16 min。每个周期内的前 2 min 用于捕捉卫星, 最后 1 min 等待, 中间 13 min 跟踪卫星。即每 16 min 里有 3 min 不生成测量数据, 一天有超过 4 h 不生成测量数据, 在长时间的时间频率传递实验中, 该数据量相当可观, 既浪费了时间又降低了测量效率。因此可以对 CGGTTS 算法进行改进以节省时间、提高测量效率^[14]。

本文将原 CGGTTS 数据周期中的捕捉卫星及等待的过程省略, 将全部 16 min 时间用于测量数据生成单站时间传递结果。实验证明, 将测量数据使用率提高后, 链路噪声减小。同时, 为了提高数据的实时性, 对数据周期进行缩短, 分别生成不同间隔的数据文件, 最终通过实验确定最优的数据间隔。

2 CGGTTS 算法改进原理

2.1 CGGTTS 算法介绍

以 V02 版本的 CGGTTS 标准为例, 如图 1 所示, 算法规定时刻表的数据周期为 16 min。每 16 min 中 13 min 为跟踪时间, 2 min 捕捉卫星时间及 1 min 等待。在 13 min 的跟踪时间内, 将 1 s 间隔的伪距测量数据分组为 15 s 的数据块, 使用二次曲线拟合对每个 15 s 的数据块进行平滑处理及延迟修正, 得到 52 组拟合的二次曲线。再对 52 个二次曲线的中点进行线性拟合, 曲线中点为该周期的时差结果^[15]。

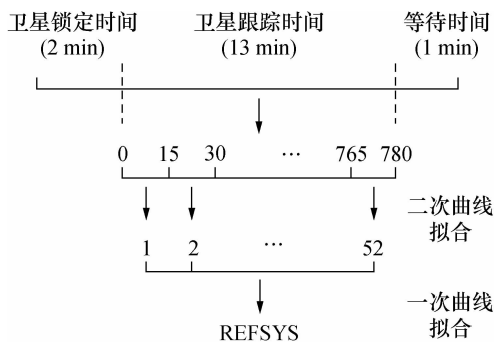


图 1 CGGTTS 数据处理

Fig. 1 CGGTTS data processing

数据间隔固定, 无法根据用户需求调整数据间隔以满足时间传递用户对于实时性更高的要求, 因此需要对算法进行相应改进。

2.2 改进的 CGGTTS 算法

改进的 CGGTTS 算法将原本锁定卫星及等待时间的过程省略, 将整个 16 min 周期用于测量数据。同时缩短数据间隔, 提高数据的实时性, 如 5、8、10 min 等。具体算法如图 2 所示, 其中 n 代表根据用

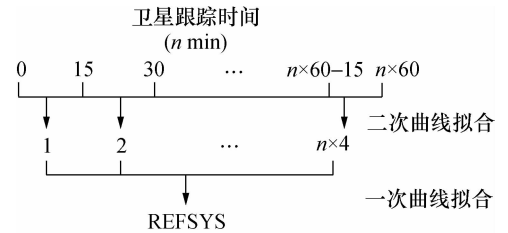


图 2 改进的 CGGTTS 算法

Fig. 2 Improved CGGTTS algorithm

户需求选定的数据周期。整段数据时长为 $n \times 60$ s, 每 15 s 分为一个数据块, 分别根据最小二乘法进行二次曲线拟合如式(1):

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

取每个数据块二次拟合曲线的中点得到 $n \times 4$ 个拟合数据。对该组数据进行最小二乘法一次曲线拟合得到最终的 REFSYS 时差值, 如式(2):

$$y = ax + b \quad (2)$$

数据周期 n 可灵活设定为 5、8、10 等任意值。

3 验证实验

实验方案如图 3 所示。首先采集接收机某一天内所有卫星的原始 P3 码数据, 数据间隔为 1 s。设定卫星号 PRN 初始值为 1, 数据文件间隔为 n min。判断当前卫星号是否小于 32, 若卫星号小于 32, 则继续判断该卫星是否有数据。若该卫星没有数据, 则将卫星号加 1 后, 返回上一级。否则, 将按照改进的 CGGTTS 算法对卫星数据进行处理。将原始卫星数据以 15 s 为间隔进行分组并进行二次拟合, 形成新的数据集。将二次拟合后的数据集通过一次线性拟合, 得到该卫星在该时间段的单站时差。计算结束后继续将卫星号加 1。当卫星号大于 32 时, 所有卫星数据处理完毕, 将数据按照卫星号及时刻表进行排序。计算 PRN、MJD、STTIME、TRKL 等参数, 下面简单介绍部分参数。PRN 为卫星编号, 范围为 1~32。MJD 为约化儒略日 (Modified Julian Day), 其与儒略日 (Julian Day, JD) 的关系为:

$$\text{MJD} = \text{JD} - 2\,400\,000.5 \quad (3)$$

式中 JD 可根据以下公式计算得到:

目前的 CGGTTS 算法数据使用率仅为 81%, 且

$$JD = \text{int}(364.25 \times Y) + \text{int}[30.6001 \times (m + 1)] + D + H/24 + 1\,720\,981.5 \quad (4)$$

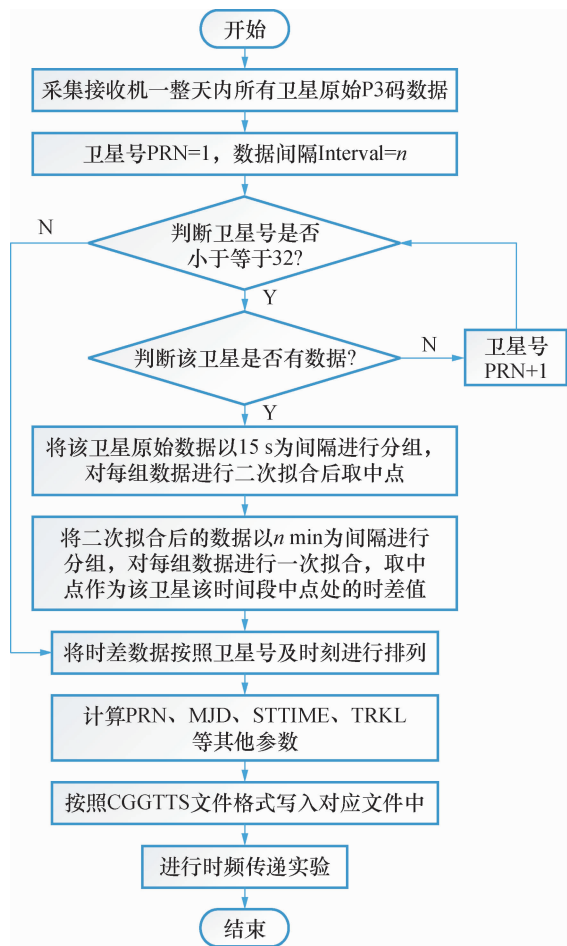


图3 实验方案

Fig. 3 Experimental scheme

STTIME 为每个周期跟踪卫星的起始时刻。TRKL 为每个周期内卫星跟踪时长。ELV 为实际跟踪时长中点所对应的卫星仰角。AZTH 为实际跟踪时长中点所对应的卫星方位角。MDTR 为实际跟踪时长中点处对流层引入的传播延时。

将生成的时差数据及接收机相关信息等按照CGGTTS 文件格式要求写入到对应接收机的数据文件中。按照改进的CGGTTS 算法生成的5 min 间隔数据文件如图4所示。最后使用生成的CGGTTS 文件进行时频传递实验。调整数据文件间隔n 并重复上述步骤,可以验证不同数据间隔下时频传递效果。

时间频率传递实验分为共钟差(common clock difference, CCD)及非共钟差实验,实验结构图如图5所示。共钟差实验中两台时间传递接收机通过分配放大器接入同一个外部时间频率参考源,同时工作并测量本地时间频率标准与GNSS系统的时差数据,最后两接收机测量的数据作差。非共钟差实验中两台接收机需分别接入不同的时间频率标准。由于共钟差实验中接收机的参考信号相同,消除了时

间频率源的影响,更好地反映链路噪声情况,而非共钟差实验比对数据则既包含链路噪声,又包含时间频率源的波动特性。

本文实验中采用的接收机为中国计量科学研究院(NIM)自主研制的NIM-TF-GNSS-3 GNSS 时间频率传递接收机,可以接收GPS、BDS (beidou navigation satellite system,北斗卫星导航系统)、GLONASS、Galileo(伽利略卫星导航系统)等多个卫星导航系统信号,生成Rinex(receiver independent exchange format,与接收机无关的交换格式)、CGGTTS 等格式数据。实验所用接收机信息如表1所示,其中“基线长度”表示各接收机与NIM(昌平院)TF11接收机之间的基线长度。

表1 接收机列表

Tab. 1 Receiver list

编号	地点	本地时间参考	GNSS 系统	基线长度/km
IM07	NIM 和平里院	铯钟	GPS、GLONASS	35
IM14	NIM 和平里院	氢钟	GPS、BDS、GLONASS	35
IM15	NIM 昌平院	UTC(NIM)	GPS、BDS、GLONASS、Galileo	
TF11	NIM 昌平院	UTC(NIM)	GPS、BDS、GLONASS、Galileo	
TS13	FAST(贵州)	氢钟	GPS、BDS、GLONASS、Galileo	1832

4 实验及结果

4.1 13/16 min 数据与 16/16 min 数据比对

实验选定数据周期为16 min,标准数据文件使用13 min 测量数据计算时差值,而改进的数据文件使用16 min 测量数据进行计算,通过不同时频传递实验验证提高测量数据使用率后的时间传递效果。

选择接收机IM15和TF11进行共钟差实验,实验时间为MJD 59012-MJD 59022。实验结果如图6所示,图中“13/16 min”代表采用周期为16 min,测量数据时长为13 min的数据文件实验结果,同样地,“16/16 min”代表采用周期与测量数据时长均为16 min的数据文件实验结果。为了便于观察,对时差曲线进行了平移,“+2 ns”代表将曲线向上平移2 ns。当数据周期为16 min,测量数据时长为13 min时,数据使用效率仅为81%。而改进后的数据文件测量时长与数据周期相等,数据使用率为100%,相比原始算法提高19%。由时差图可以看出测量数

```

CGGTTS      GENERIC DATA FORMAT VERSION = 2E
REV DATE = 2020-06-10
RCVR = TF11 NIM-TF-GNSS-3 2016011 2016 TFS V2.5.21.0
CH = 216 (GPS+GLONASS+BDS)
IMS = TF11 NIM-TF-GNSS-3 2016011 2016 TFS V2.5.21.0
LAB = NIM
X = m
Y = m
Z = m
FRAME = ITRF, WGS84->ITRF Dx = 0.0 m, Dy = 0.0 m, Dz = 0.0 m, ds = 0.0, Rx = 0.000000, Ry = 0.000000, Rz = 0.000000
COMMENTS = 2E
INT DLY = 0.0 ns (GPS P1), 0.0 ns (GPS P2)      CAL_ID = 000000
CAB DLY = 0.0 ns
REF DLY = 0.0 ns
REF = UTC(NIM)
CKSUM = 9b

SAT CL  MJD  STTIME TRKL  ELV  AZTH  REFSV  SRSV  REFSYS  SRSYS  DSG  IOE  MDTR  SMDT  MDIO  SMDI  MSIO  SMSI  ISG  FR  HC  FRC  CK
          hhmss  s  .1dg .1dg  .1ns  .1ps/s  .1ns  .1ps/s  .1ns  .1ps/s .1ns .1ps/s .1ns .1ps/s .1ns .1ps/s .1ns
G04 ff 59026 000000 300 345 1406 6247452 -353 -7 -8 4 1 142 0 99 10 23 3 8 0 0 L3P EA
G07 ff 59026 000000 300 337 2249 -7833123 262 -4 -2 8 1 145 -0 84 3 -40 -4 12 0 0 L3P 0A
G08 ff 59026 000000 300 450 1888 -8073632 -92 39 -27 5 1 114 -0 75 8 -39 35 11 0 0 L3P 2B
G09 ff 59026 000000 300 258 1237 2579053 780 14 -25 5 1 185 0 125 12 -11 44 10 0 0 L3P 33
G11 ff 59026 000000 300 164 2483 1830097 733 6 3 7 1 282 -1 120 -0 -55 36 13 0 0 L3P 19
G16 ff 59026 000000 300 674 152 6418252 345 25 8 4 1 88 -0 57 8 -53 -11 8 0 0 L3P ED
G21 ff 59026 000000 300 207 2111 1552820 -80 23 2 15 1 227 38 111 20 2 -61 24 0 0 L3P FA

```

图 4 改进的 CGGTTS 文件示例

Fig. 4 Improved CGGTTS file example

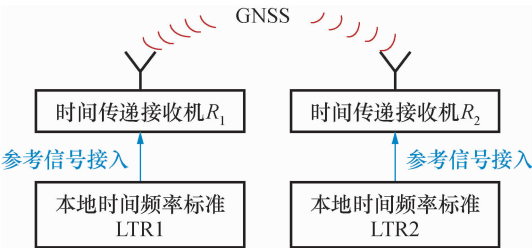


图 5 实验结构图

Fig. 5 Experimental structure diagram

钟差实验,将其分别接入不同的参考时钟,时间为 MJD 58905-MJD 58919。比对结果中除链路噪声外,还包含钟的噪声。为了便于观察采用 16 min 测量数据对 GNSS 链路噪声的改善情况,需要将比对结果中本地时间频率源的影响进行消除。相比码时间传递,载波相位时间传递频率具有更高的测量精度^[16],因此可将 GNSS 共视法比对结果与载波相位时间传递结果相减,从而减小参考源的影响。实验结果如图 7 所示。

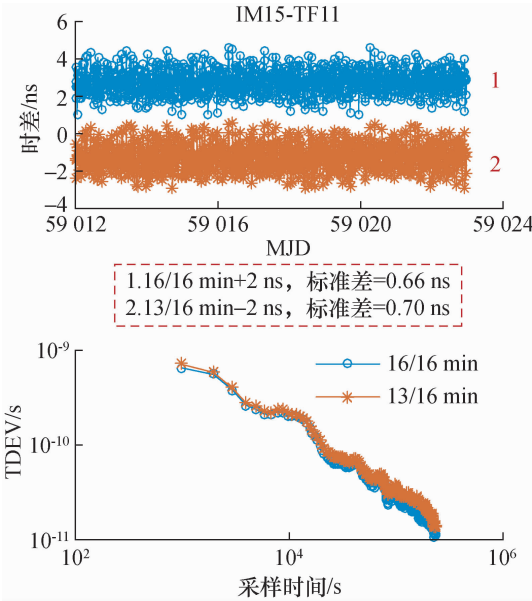


图 6 IM15-TF11 比对结果

Fig. 6 IM15-TF11 comparison results

据时长为 16 min 的比对结果标准差比 13 min 的比对结果标准差减小 6%, 比对数据噪声降低;从时间稳定度曲线可以看到采用 16 min 测量数据的比对结果在不同采样时间均有所提高。

选择接收机 IM07 与 IM14 进行超短基线非共

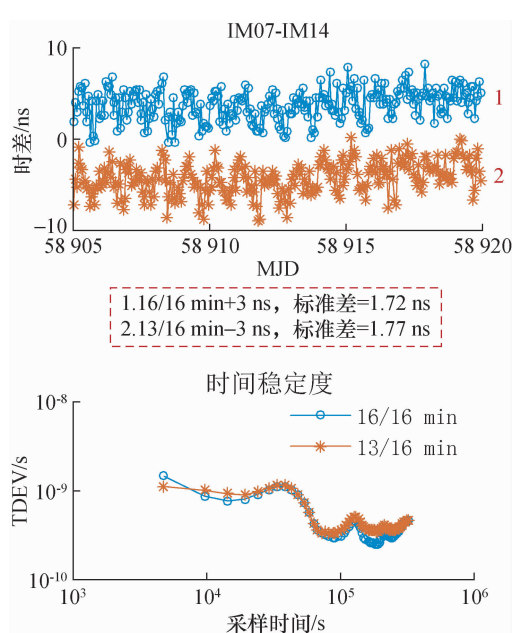


图 7 IM07-IM14 比对结果

Fig. 7 IM07-IM14 comparison results

从图 7 中可以看到采用 16 min 测量数据后,标准差减小 3%, 比对数据噪声降低;从 TDEV (Time Deviation, 时间偏差) 曲线可以看到当采样时间小于 30 000 s 及大于 60 000 s 时,采用 16 min 测量数据

的比对结果稳定度优于 13 min。

选择接收机 TS13 与 TF11 进行长基线实验,实验时间为 MJD 59100-MJD 59110。同样,将 GNSS 共视法比对结果与载波相位时间传递结果相减。实验结果如图 8 所示。

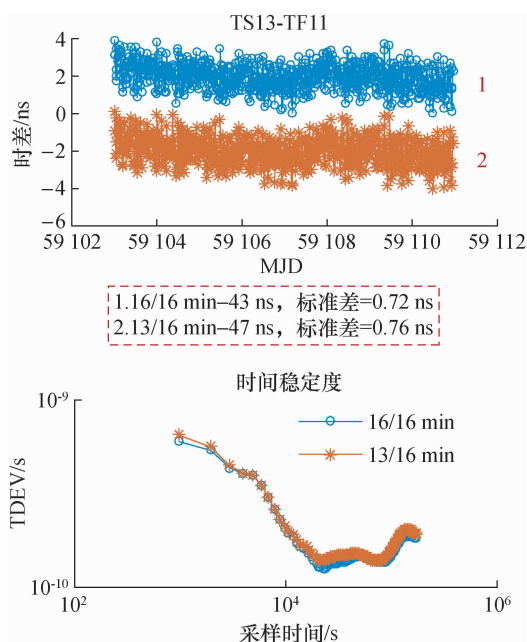


图 8 TS13-TF11 比对结果

Fig. 8 TS13-TF11 comparison results

从图中可以看到采用 16 min 测量数据后,标准差减小 5%;从 TDEV 曲线可以看到当采样时间小于 20 000 s,采用 16 min 测量数据的比对结果稳定度略微优于 13 min。

4.2 不同间隔 CGGTTS 文件时间传递实验

缩短数据周期可以增加比对结果的实时性,便于用户更快地监测到数据的异常情况。但是数据间隔减小时,数据平滑时间减小,导致比对结果的噪声性能变差,因此需要通过实验选取合适的数据间隔。

使用 IM15、TF11 及 TS13 站点原始测量数据分别生成数据周期为 5 min、8 min、10 min、13 min 及 16 min 的 CGGTTS 文件,测量数据时长与数据周期相等。使用不同间隔的数据文件的分别进行 IM15-TF11 共钟差实验及基线长度为 1 832 km 的 TS13-TF11 长基线实验,结果如图 9 及表 2 所示。其中,TS13-TF11 比对处理与上一节类似,将不同间隔 GNSS 比对结果与载波相位时间传递结果相减。为选取合适的数据间隔,绘制不同间隔数据文件实时性、噪声性能、数据量变化情况如图 10 所示,并在表 2 中列出这些关键参数的统计结果。图 10 中使用的数据文件为数据使用率为 100% 的改进的 CGGTTS 文件。

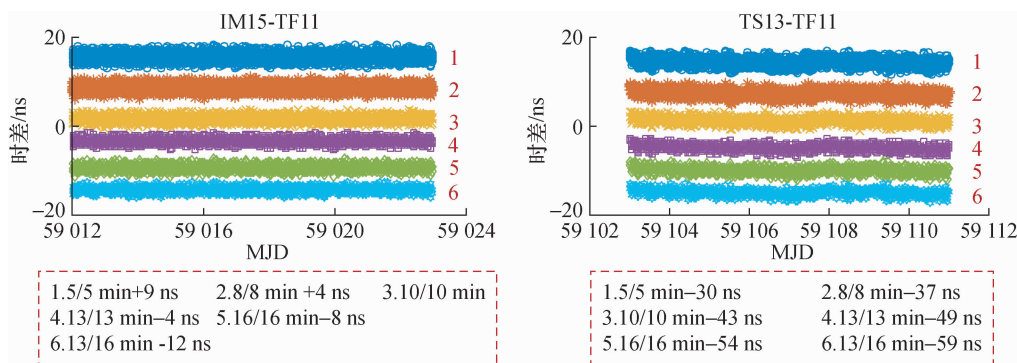


图 9 不同间隔 CGGTTS 文件时间传递结果

Fig. 9 Time transfer results with CGGTTS data in the different intervals

结合图 10 及表 2 可以看到,实时性变化情况图反映了不同数据间隔文件相比于 13/16 min 标准数据文件的实时性提高率,计算公式如下:

$$\text{提高率} = (\text{数据间隔} - 16) / 16 \quad (5)$$

提高率与数据间隔呈线性关系,数据间隔越小,实时性越强。在数据间隔为 5 min 时,实时性提高率最大可达到近 70%。

噪声变化情况主要通过比对结果标准差的变化体现,标准差越大,噪声性能越差。共钟差实验的标准差在 (5 ~ 8) min、(8 ~ 13) min 及 (13 ~ 16) min 区间时,标准差变化幅度分别为 0.03 ns · min⁻¹、0.02 ns · min⁻¹、0.01 ns · min⁻¹。而长基线实验在

(5 ~ 10) min、(10 ~ 16) min 间隔内时,标准差增速分别为 0.02 ns · min⁻¹、0.01 ns · min⁻¹。因此,考虑噪声变化情况,选择数据间隔为 8 ~ 16 min 合适。

数据量变化情况图平均每日数据量变化情况,数据量与文件所占用内存数量密切相关,数据间隔太小会导致数据文件占用内存过多,给用户带来额外的负担。从图中可以看到,数据间隔从 16 min 减小到 8 min 时,数据量增加约为 600 ~ 800 个,从 8 min 减小到 5 min 数据量增加 800 ~ 1000 个点。5、8、10、13、16 min 间隔所对应的数据文件大小分别为 258、160、127、97、77 kB。因此,考虑数据量变化情况,8 ~ 16 min 间隔合适。

表 2 关键参数统计
Tab. 2 Statistics for key parameters

实验	基线/km	数据间隔/min	标准差/ns	数据量/个	实时性提高/(%)	运算量/次
IM15-TF11 共钟差实验	0	5/5	0.89	2128	68.75	798879
		8/8	0.80	1310	50.00	797130
		10/10	0.75	1039	37.50	796549
		13/13	0.70	790	18.75	796013
		16/16	0.66	631	0.00	795675
		13/16	0.70	631	0.00	646750
TS13-TF11 长基线实验	1832	5/5	0.89	2463	68.75	799214
		8/8	0.83	1517	50.00	797337
		10/10	0.79	1199	37.50	796709
		13/13	0.75	910	18.75	796133
		16/16	0.72	726	0.00	795771
		13/16	0.76	726	0.00	646845

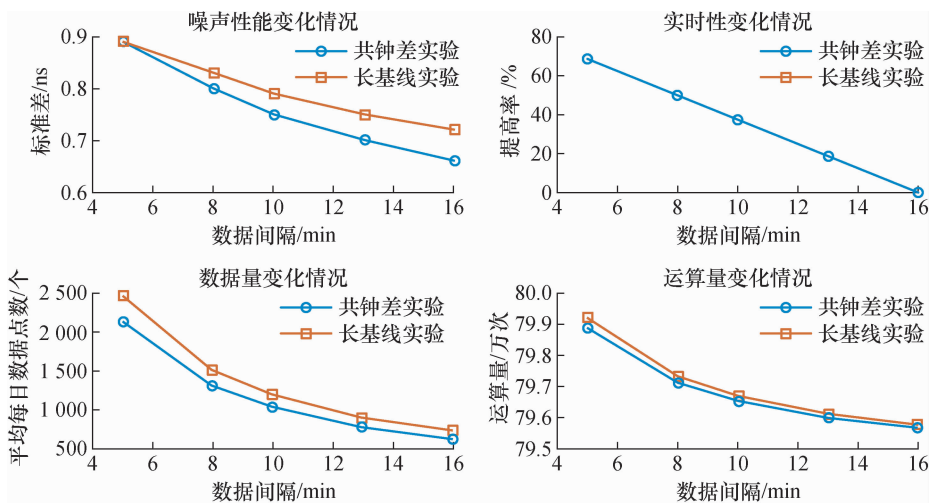


图 10 关键参数变化情况

Fig. 10 Fluctuation of key parameters

运算量变化情况为生成一天特定间隔的数据文件所需运算量的统计,包括从原始数据文件中读取原始 1 s 间隔卫星数据、对卫星数据进行二次拟合运算及一次拟合运算及将最终的时差数据写入相应数据文件的过程,数据间隔与运算量近似指数关系。与数据量变化情况相似,数据间隔从 16 min 减小到 8 min 时运算量增加量约 1500 次。而从 8 min 缩减为 5 min 时,运算量增加超 1700 次。改进的 CGGTTS 文件运算量相比原始接收机数据量增加约 15 万次,主要是由于改进的 CGGTTS 算法中原始测量数据量增加,读取数据次数增加。因此,考虑运算量变化情况,选择 8 ~ 16 min 间隔合适。

综合考虑以上因素,当数据间隔为 5 min 时,虽

然实时性提高率达 69%,但噪声均达到最大值 0.89 ns,数据量为 13/16 min 标准数据文件数据量的 3.3 倍,运算量增加 15.2 万次,会给用户计算机数据处理及存储带来挑战。在 8 ~ 13 min 间隔内,实时性提高 18% 以上,共钟差实验噪声水平保持在 (0.71 ~ 0.81) ns,长基线实验噪声水平保持在 (0.75 ~ 0.84) ns,数据量最大为标准文件数据量的 2 倍,运算量增量约 15 万次。因此,相较而言 8 至 13 min 间隔是一种比较折中的考虑。

5 结 论

本文简单介绍了 CGGTTS 算法原理。为了避免算法中的数据浪费、提高实时性,对 CGGTTS 算法

进行改进。将数据周期内全部测量数据用于计算时差值,同时缩短数据间隔,提高实时性。实验证明,改进的CGGTTS算法数据使用率提高至100%,相比原始算法提高19%,噪声性能最大可改善6%。由于短期数据量增加,链路噪声平均效果提高,因此比对数据短期稳定度提高。分别生成5、8、10、13、16 min数据文件进行实验发现,缩短数据间隔后,数据平滑时间减小,数据噪声随之增加。数据间隔缩减为5 min时,相比与标准CGGTTS文件,实时性提高69%,噪声性能在共钟差实验中恶化27%,长基线实验中恶化17%。最后综合分析不同间隔数据文件实时性、标准差、数据量及运算量变化情况,得到8~13 min间隔是一种折中的选择,改进的CGGTTS算法共钟差实验噪声水平保持在(0.70~0.80) ns,非长基线实验噪声水平保持在(0.75~0.83) ns。

[参 考 文 献]

- [1] Lopez O, Kanj A, Pottie P E, *et al.* Simultaneous remote transfer of accurate timing and optical frequency over a public fiber network[J]. *Applied Physics B*, 2013, 110(1): 3-6.
- [2] Liang K, Zhang A, Yang Z, *et al.* Preliminary time transfer through optical fiber at NIM[C]// 2015 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium & the European Frequency and Time Forum (FCS), 2015.
- [3] Jiang Z. Towards a TWSTFT network time transfer[J]. *Metrologia*, 2008, 45(6): S6.
- [4] 广伟. GPS PPP时间传递技术研究[D]. 西安:中国科学院研究生院(国家授时中心), 2012.
- [5] 张鹏飞, 涂锐, 广伟, 等. BDS-3时间频率传递方法及其性能分析[J]. *导航定位与授时*, 2020(5): 58-64.
- Zhang P F, Tu R, Guang W, *et al.* BDS-3 Time Frequency Transfer Method and Performance Analysis [J]. *Navigation Positioning and Timing*, 2020(5): 58-64.
- [6] Allan D W, Weiss M A. Accurate Time and Frequency Transfer During Common-View of a GPS Satellite[C]// Symposium on Frequency Control, 2005.
- [7] Harmegnies A, Defraigne P, Petit G. Combining GPS and GLONASS in all-in-view for time transfer [J]. *Metrologia*, 2013, 50(3): 277-287.
- [8] 高小珣, 高源, 张越, 等. GPS共视法远距离时间频率传递技术研究[J]. *计量学报*, 2008, 29(1): 80-83.
- Gao X X, Gao Y, Zhang Y, *et al.* GPS Common View Method for Remote Time and Frequency Transfer [J].

Acta Metrologica Sinica, 2008, 29(1): 80-23.

- [9] Allan D W, Thomas C. Technical directives for standardization of GPS time receiver software [J]. *Metrologia*, 1994, 31(1): 69-79.
- [10] Lewandowski W, Azoubib J, Gevorkyan A, *et al.* A Contribution to the Standardization of GPS and GLONASS Time Transfers[C]// PTIT, Virginia, 1996.
- [11] Defraigne P, Petit G. CGGTTS-Version 2E: an extended standard for GNSS Time Transfer [J]. *Metrologia*, 2015, 52(6): G1.
- [12] Defraigne P, Verhasselt K. Multi-GNSS time transfer with CGGTTS-V2E [C]// 2018 European Frequency and Time Forum (EFTF), 2018.
- [13] Liu X, Zhao D L, Liu J L. BDS Common-View Method Based on CGGTTS V2E Standard[C]// Proceedings of 2018 International Conference on Computer Science, Electronics and Communication Engineering (CSECE2018), Wuhan, Hubei, China, 2018.
- [14] Jiang Z, Lewandowski W. Some remarks on the CCTF CGGTTS format [C]// IEEE 2011 Joint conference of the IEEE International Frequency Control and the European Frequency and Time Forum (FCS), San Francisco, CA, USA, 2011.
- [15] 张越, 高小珣. GPS共视法定时参数的研究[J]. *计量学报*, 2004, 25(2): 167-170.
- Zhang Y, Gao X X. Research on Timing Parameters for GPS Common-view Method [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2004, 25(2): 167-170.
- [16] 梁坤, 王伟波, 宁大愚, 等. GPS载波相位时间频率传递的研究[J]. *计量学报*, 2010, 31(1): 71-76.
- Liang K, Wang W B, Ning D Y, *et al.* Study on GPS Carrier Phase Time Frequency Dissemination [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2010, 31(1): 71-76.



第一作者: 郝爽雨(1996-),河北张家口人,北京交通大学研究生,主要研究方向为GNSS时间频率传递。
Email:18120062@bjtu.edu.cn



通讯作者: 梁坤(1980-),山西大同人,北京交通大学教授,主要从事精密测量,守时及时频传递研究。
Email:liangk@bjtu.edu.cn