

# 一种新的多通道 GPS 共视资料的处理算法

卢晓春<sup>1</sup> 杨旭海<sup>1</sup> 李孝辉<sup>1</sup> 胡永辉<sup>1</sup>

(1 中国科学院国家授时中心, 西安市临潼区 18 号信箱, 710600)

**摘要:** 提出了一种按仰角加权的多通道 GPS 共视资料处理算法, 充分利用了所有观测数据, 同时抑制了多径等因素影响, 从而可提高共视比对精度。对日本邮政省通讯研究所(CRL)和国家授时中心(NTSC)2002 年 5 月~2003 年 3 月的多通道共视比对的处理结果表明, 新的处理算法结果更接近真实钟差。

**关键词:** 多径效应; 大气折射; 卫星仰角; GPS 共视; 多通道观测

**中图法分类号:** P228.42

目前, GPS 共视(GPS CV)是国际权度局(BIPM)在国际原子时(TAI)计算中联系全球约 50 个时间实验室 250 多台原子钟的一种主要手段<sup>[1]</sup>。近年来, 多种新的高精度时间比对技术相继出现, 其中最主要的是多通道 GPS/GLONASS “全视”法(all-in-view)和卫星双向法(TWSTF)。尽管国际电联(ITU)推荐用卫星双向法进行时间比对, 但由于卫星双向法设备昂贵, 卫星资源受到限制, 所以不能很好地普及; 相反, “全视”法由于通道多, 数据量大<sup>[2]</sup>, 而且可以连续观测, 应用依然广泛。

目前多通道共视比对, 通常是首先去除掉仰角为 20°以下的比对资料, 然后把每一次全长跟踪时间内多通道共视比对的数据进行等权平均<sup>[3]</sup>。这是因为, 多径信号一般与来自低仰角卫星的信号一起到达。另外, 对低仰角卫星, 电离层、对流层影响较大。显然采用这种处理措施, 很多观测数据不能被充分利用, 另外, 20°以上的卫星比对资料的精度也不相同。笔者提出了一种按仰角加权的多通道 GPS 共视资料的处理算法, 可有效地利用所有的观测资料, 同时减轻多径等因素的影响, 从而提高共视比对精度。

## 1 卫星仰角对 GPS 共视比对精度的影响

GPS 共视时间传递虽然能够消除卫星钟和

卫星轨道的误差, 但是不能消除接收机噪声、电离层附加时延残差、对流层变化等的影响, 不能很好地与所用的原子钟的稳定性相匹配。因此, GPS 共视资料的处理算法的研究对提高相对遥远的钟的比对精度有相当重要的作用。

GPS 时间传递标准工作组(GGTTS)研究认为, GPS 定时接收机实现软件标准化, 采用统一方法来处理短期观测资料, 可进一步提高 GPS 共视传递精度。Allan 在 1994 年发表了关于 GPS 接收机软件标准化技术指南的文章<sup>[4]</sup>, 对 GPS 定时接收机软件的基本数据处理过程作了统一规定, 制订了标准的 GPS 数据文件格式和存储方式。

其要求的数据处理过程为: 一次全长跟踪持续 13min, 这样做是为了能够利用卫星每 12.5min 一次的电离层时延数据。接收机通常需要 2min 的时间锁定卫星信号, 另外需要 1min 的时间进行数据处理和为下一次跟踪做准备, 因此一次完整的共视观测周期为 16min。GGTTS 规定每天比前一天提前 4min 进行共视测量。数据最后的结果所对应的时间为从本次跟踪开始时刻起算的第 389.5s。

各时间实验室 GPS 接收机输出文件中的 REFSYS 是各自的参考时间 UTC(*i*)和卫星钟的比对结果。在计算共视比对的程序中, 按两个 GPS 接收机的输出文件中记录的各个 PRN(卫星星号)、CL(共视类别)、MJD(简约儒略日)、HHMMSS(跟踪起始时刻)、TRKL(跟踪长度)作

为两个文件中的记录是否共视的判断依据, 选出两个文件中的共视记录, 从而得到每个卫星共视跟踪时段(780s)中间时刻两个时间实验室参考时间的对比值是  $UTC(i) - UTC(j)$ 。

GPS 共视时间传递的主要误差源是大气折射误差和多径效应, 这些误差源对 GPS 共视比对精度的影响程度与卫星仰角有关。

GPS 信号在大气中传播时, 由于受到大气折射的影响, 传播路径会发生弯曲, 传播速度异于真空光速, 造成信号的传播误差, 成为 GPS 共视比对的重要误差源。

根据大量的分析以及实际观测, 可以知道折射误差随仰角的减小而增大。对于电离层附加时延, 视野内的卫星在低仰角时引起的延迟几乎等于天顶时的 3 倍; 对垂直入射的  $L$  波段信号来说, 延迟的范围从夜间的 10ns 左右到白天的 50ns 左右; 在低仰角时 ( $0^\circ \sim 10^\circ$ ), 延迟的范围从夜间的 30ns 左右到白天的 150ns 左右。对于对流层附加时延, 在天顶时大约为 8ns, 而仰角为  $10^\circ$  时增大到约 43ns。虽然对流层附加时延可以得到很好的校正, 电离层附加时延也可以用模型来修正, 但是电离层附加时延仍有不可消除的残差存在, 而残差也随着仰角的减小而增大。

GPS 共视比对的另一重要的误差源是多径效应。在进行共视比对时, 接收机天线除接收直接来自卫星方向的信号外, 还接收到其他物体反射回来的信号。由于这两种信号路径不同, 从而使接收到的组合信号变形, 产生测量误差。多路径主要由接收机附近的反射表面引起, 如高大的建筑物、飞机或其他空间飞行器的反射体等, 那么纯从几何特性分析, 很明显从低仰角卫星上收到的信号更易受多路径干扰。虽然目前广泛采用抗多径天线来减轻多径效应, 但是仍然有无法消除的残差存在。

综上所述, 卫星仰角越小, 共视比对误差越大。BIPM 目前采用的克服电离层残差和多径效应的办法就是去掉低仰角 ( $20^\circ$  以下) 的数据, 然后对每 13min 的跟踪时间内多通道的共视比对进行等权平均。

为了定量分析卫星仰角和共视比对精度的关系, 笔者处理了日本邮政省通讯研究所 (CRL) 和国家授时中心 (NTSC) 两站 2002-05 ~ 2003-03 间的共视比对原始资料, 发现在共视比对资料中的共视接收机输出的 REFSYS 项和卫星的仰角有一定的关系, 仰角越小, 共视比对误差越大, 仰角越大, 共视比对误差越小。图 1、图 2 分别为 2002 年一个月的共视接收机输出文件中的 REFSYS 和

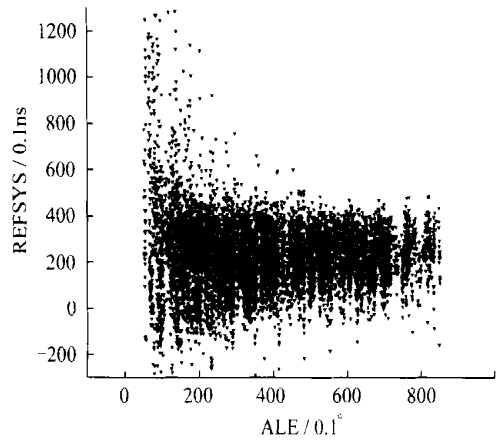


图 1 CRL 2002 年 10 月 REFSYS(CRL)和 ALE 关系图

Fig. 1 Relation Between REFSYS and ALE in CRL in Oct. 2002

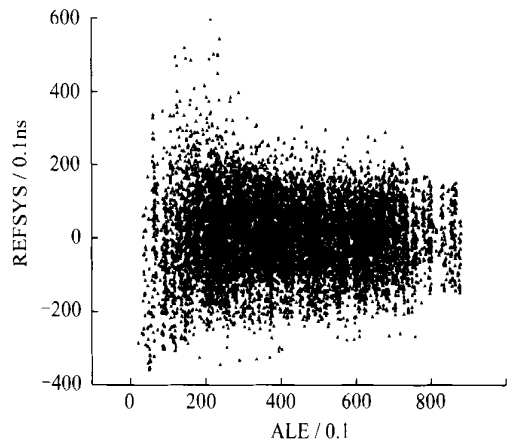


图 2 NTSC 2002 年 9 月 REFSYS(NTSC)和 ALE 关系图

Fig. 2 Relation Between REFSYS and ALE in NTSC in Sep. 2002

ALE 关系图。图中横坐标轴是卫星仰角 ALE, 纵坐标轴是共视接收机输出的 REFSYS。从图中可以明显地看到, REFSYS 随着仰角的增大, 弥散度越小, 有趋于平稳的趋势。

由于卫星仰角引起的大气折射多径效应误差有很大的不同, 目前 BIPM 对多通道共视比对的处理算法存在着不足之处。为了充分有效地利用数据资源, 实现高精度的时间传递, 本文提出了一种按仰角加权的 GPS 多通道共视比对数据处理算法。

## 2 按仰角加权的多通道 GPS 共视资料的处理算法

笔者在处理 CRL-NTSC 的多通道 GPS 共视比对资料时, 考虑到两个共视比对资料中的记录数、跟踪的起始时刻、跟踪长度经常不一致, 同时在国际权度局进行 TAI 计算时, 由于 GPS 和

GLONASS 在时间系统等方面有很大差异,对统一处理两个卫星的观测资料带来了很大困难。因此,目前虽然有很多“全视”接收机参与国际共视比对,但 GLONASS 的观测资料尚没有被用来进行 TAI 计算。在处理时,首先剔除掉了共视接收机输出标准文件中的卫星星号 (PRN) 大于 100 的 GLONASS 数据,以及跟踪起始时刻 (HHMMSS) 不一致和跟踪长度 (TRKL) 小于 780s 的共视比对数据,然后对剩余其他资料进行处理。

假设在共视时段的 13min 内,各个通道的共视比对平均可以完全反映该共视时段内第 389.5s 的两地钟的稳定性,姑且称为“真差值”,那么,可以根据该时段内每个通道的钟差值离这个“真差值”的弥散度按其所对应的仰角来取权,其具体步骤如下。

1) 求出在第  $m$  个共视时段的 13min 内,各个通道的共视比对钟差的平均值:

$$\bar{y}_m = \frac{1}{n} \sum y_{m,i} \quad (1)$$

式中,  $y_{m,i} = (y_{\text{REFSYS(CRL)}} - y_{\text{REFSYS(NTSC)}})_{m,i}$ ;  $i$  为 CRL 和 NTSC 两站钟差同一通道对应的仰角和的平均,视  $i$  为两站钟差对应的仰角;  $n$  为通道数。

2) 计算第  $m$  个时段内每个通道的钟差值和这个平均值的差,得到在该时段内对应不同仰角的钟差值和平均值的偏差:

$$d_{m,i} = y_{m,i} - \bar{y}_m \quad (2)$$

3) 计算 2002-05 ~ 2003-03 总共 11 个月的共视资料,可以得到在同一仰角  $i$  下不同时段内的偏差序列:

$$\{d_1, d_2, d_3, \dots, d_m\}_i \quad (3)$$

4) 对该序列求方差  $\sigma_i$ ,即得到仰角  $i$  所对应“真值”的弥散度:

$$\sigma_i = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_m^2} \quad (4)$$

5) 在第  $m$  个共视时段内,对于不同通道  $n$  和不同仰角  $i$ ,先取其方差的倒数  $1/\sigma_i$ ,然后对不同通道不同仰角的  $1/\sigma_i$  求和,取其和的倒数  $x_{m,i}$ ,即  $x_{m,i} = 1/\sum_n \sigma_i$ ,再进行归一化,那么该时段内的不同仰角对应的权重  $y_{\text{weight}(m,i)}$  即为:

$$y_{\text{weight}(m,i)} = (1/\sigma_i) x_{m,i} \quad (5)$$

按照这种取权方法,在不同时段内,对应相同

仰角的权重取值是不一样的。

因为前面所述的大气折射引起的附加时延和多径效应引起的附加时延随着仰角的增大而减少,所以在取权重时,对于同一颗卫星,在共视比对的 13min 内,如果两地的观测仰角都高,给共视比对值相对大的权重;如果两地的观测仰角都低,给共视比对值相对小的权重;如果两地的观测仰角一个高一个低,共视比对的权重应在前面两种情况之间。

### 3 结 果

笔者处理了 2002 年 5 月 ~ 2003 年 3 月的 CRL-NTSC 的 GPS 多通道共视比对资料。将目前多通道共视比对资料中剔除仰角小于  $20^\circ$  的比对资料,然后将剩余资料平均求值的算法称为“目前算法”,将按仰角加权的算法称为“仰角加权算法”。表 1 是所得到的 UTC(CRL)-UTC(NTSC) 的“目前算法”和“仰角加权算法”分别与 BIPM 公布的 Circular T 的 UTC(CRL)-UTC(NTSC) 的比较。图 3 是所得到的 UTC(CRL)-UTC(NTSC) 的“目前算法”和“仰角加权算法”分别与 BIPM 公布的 Circular T 的 UTC(CRL)-UTC(NTSC) 的比较。

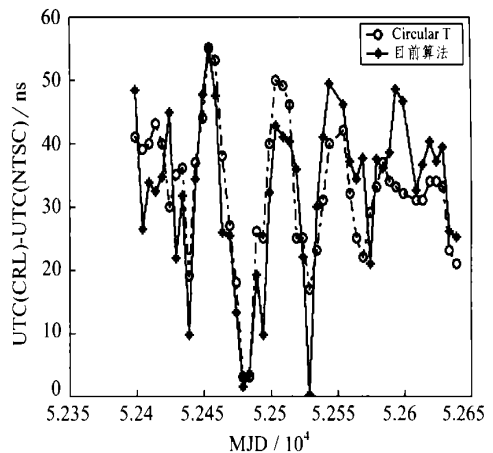


图 3 钟差的比较

Fig. 3 Comparison of the Time

从图 3 可以看出,仰角加权算法结果和 Circular T 的钟差值曲线更为接近。用“目前算法”算得的均方差为 8.415 6 ns,用“仰角加权算法”算得的均方差为 7.472 3 ns。可见,“仰角加权算法”数据更接近真实钟差。

表 1 钟差的比较

Tab. 1 Comparison of the Time Difference

约化儒略日	Circular T / ns	目前算法 / ns	仰角加权算法 / ns	约化儒略日	Circular T / ns	目前算法 / ns	仰角加权算法 / ns
52 399	41	48.4	36.9	52 519	25	35.8	23.8
52 404	39	26.4	28.2	52 524	25	22.1	23.2
52 409	40	33.8	34.6	52 529	17	0.2	18.3
52 414	43	32.4	31.8	52 534	23	29.9	25.4
52 419	40	34.7	30.3	52 539	31	41	29.9
52 424	30	44.8	52.8	52 544	40	49.3	40.9
52 429	35	21.9	36.2	52 554	42	46	47.9
52 434	36	31.7	21.4	52 559	32	37.1	36.3
52 439	19	9.7	13.6	52 564	25	34.3	22.1
52 444	37	34.3	22.1	52 569	22	37.7	25.5
52 449	44	47.7	30.7	52 574	29	21	26.5
52 454	55	55	36.3	52 579	33	37.5	30.8
52 459	53	47.4	53.4	52 584	37	36.1	33.5
52 464	38	25.8	39	52 589	34	38.5	31.4
52 469	27	25.3	30.3	52 594	33	48.5	36.2
52 474	18	13.3	13	52 599	32	46.5	29.8
52 479	3	1.5	8.1	52 609	31	32.6	39.8
52 484	3	3.6	4.5	52 614	31	36.6	30.2
52 489	26	19.2	26.7	52 619	34	40.3	47.2
52 494	25	9.7	18.6	52 624	34	37.1	37.1
52 499	40	32.2	40.8	52 629	33	39.3	32.7
52 504	50	42.7	38.7	52 634	23	26	27.4
52 509	49	41	41.8	52 639	21	25.1	25.8
52 514	46	40.3	48.3				

参 考 文 献

1 BIPM. Annual Reports of the BIPM Time Section. 1996 ~ 1999. 8 ~ 11

2 Lew andow ski W, Azoubil J. A New Approach to International Satellite Time and Frequency Comparisons; "All-in View" Multichannel GPS + GLONASS Observations. ION GPS 97, 1997

3 王正明. CSAO 多通道 GPS/ GLONASS 接收机试运行结果. 陕西天文台台刊, 2001, 24(2): 108

4 方 群. 卫星定位导航基础. 西安: 西北工业大学出版社, 1999

第一作者简介: 卢晓春, 博士生。现主要从事 GPS 高精度时间传递、时间同步和时间频率测量仪器的研究。  
E-mail: luxc@ntsc. ac. cn

## New Algorithm of Processing Multichannel Common-View Observations with GPS

LU Xiaochun<sup>1</sup> YANG Xuhai<sup>1</sup> LI Xiaohui<sup>1</sup> HU Yonghui<sup>1</sup>

(1 National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences,  
P. O. Box 18, Lintong District, Xi'an, China, 710600)

**Abstract:** A new algorithm with weight in accordance to the elevation is introduced. The algorithm may decrease the influence of multi-path effect, on the other hand, it may utilize the data of all observations. The result of the multichannel GPS observations datum from Communications Research Laboratory (CRL) and National Time Service Center (NTSC) shows that the more accurate time synchronization may be obtained with the new algorithm.

**Key words:** multi-path effect; atmospheric refraction; satellite elevation; GPS common-view; multi-channel GPS observations

About the first author: LU Xiaochun, Ph. D candidate. She majors in time and frequency transfer with GPS and timing instrument.  
E mail: luxc@ntsc. ac. cn