

共视法和综合法的 GPS 时间同步精度比较

胡 锦 伦

(中国科学院上海天文台,上海 200030)

提 要

对共视法和综合法的 GPS 时间比对得到的两地协调世界时的时间同步精度进行了比较。两种方法各有特点,都有实用价值。严格共视的 GPS 时间同步精度为 5~10ns,不严格共视的 GPS 时间同步精度为 10~20ns,综合的 GPS 时间同步精度为 6~12ns。

主题词:全球定位系统(GPS) — 时间比对 — 时间同步

分类号:P127.13

1 引 言

严格共视的 GPS 时间比对,接收条件和数据输出格式完全符合要求,可以消除 SA(Selective Availability)效应对两地协调世界时的时间同步影响。单颗卫星数据难于长期保持同步精度的良好结果(有时处于不健康状态)。

不严格共视的 GPS 时间比对,接收条件和数据输出格式有时不完全符合要求,可以基本消除 SA 效应对两地协调世界时的时间同步影响。多颗卫星平均能长期保持同步精度的较好结果。

综合的 GPS 时间比对,是采用合适的数据处理方法,对每天多颗卫星接收数据归化得到每天 UTC 0h 的综合 GPS 时间。它不要求严格共视,也可基本消除 SA 效应对两地协调世界时的时间同步影响,能长期保持同步精度的较好结果。

2 方法比较简述

1. 共视法

(1) 严格共视的 GPS 时间比对

接收条件和数据输出格式要完全符合国际 GPS 共视时间比对的要求:① 按国际计量局(BIPM)时间部公布的国际 GPS 跟踪计划表(分 10 个区,每半年调整公布一次)接收分类号相同的卫星信号;② 有精确的本地实测电离层时延校准和精密星历修正;③ 一组接收数据的初始时刻和终止时刻相同,跟踪长度够 13 分钟(780 秒);④ 该组接收数据线性拟合给出跟踪长度中点时刻(正好 390 秒)的本地协调世界时与该卫星 GPS 时间的时间差。长期归算时无异常

数据。

(2) 不严格共视的 GPS 时间比对

接收条件和数据输出格式基本符合国际 GPS 共视时间比对的要求:① 按国际 GPS 跟踪计划表接收分类号相同的卫星信号;② 有粗略的本地实测电离层时延校准和星历修正;③ 一组接收数据的初始时刻和终止时刻接近,跟踪长度接近 13 分钟;④ 该组接收数据线性拟合给出跟踪长度中点时刻附近(390 秒前后)的本地协调世界时与该卫星 GPS 时间的时差。长期归算时有部分异常数据,可以允许每月约有 3~5 天数据,个别达 10 天数据。

产生不严格共视的 GPS 时间比对的原因有内因和外因:① 接收机的接收计划表时间有跳变现象,特别是相邻两天过 UTC 0h 时(卫星运行周期以恒星时计算,同一颗卫星的接收计划表每天要提前 4 分钟,相邻两天过 0h 时,有的接收时间为 23h54min,有的接收时间为 23h58min);② 两地共视接收时的环境条件和天气条件影响不同,特别是有的室外天线受雷雨天气影响使信号的信噪比降低而导致数据不足;③ 其它干扰影响。

在归算过程中可采用设置判据剔除奇异点数据(野值)的方法,在归算(例如一个月一次,数据取样时间为一天)时,以线性拟合的时间起伏标准偏差的 3 倍(3σ)作为剔除奇异点数据的判据。实际计算表明,不完全严格的共视时间同步精度为 10~20ns,可用 50ns 作为判据,线性拟合的时间起伏数据超过 50ns 时作奇异点数据剔除,重新归算。为了同时计算时间同步数据的频率稳定度,对剔除的奇异点数据采用内插法补齐后归算。

2. 综合法

综合的 GPS 时间比对,是采用合适的数据处理方法,对每天多颗卫星接收数据归化得到每天 UTC 0h 的综合 GPS 时间。由它确定两地协调世界时的时间同步精度,不要求严格共视。国际上任何两地的协调世界时都可方便地采用综合 GPS 时间数据进行时间同步比较,其结果与每天各地接收卫星次数有关(每天接收卫星次数为 20~25 时,可提高精度约 5 倍),长期可靠性更有保证。

(1) BIPM 方法:平滑-插值-变换,由法国巴黎天文台(OP)每天接收的单星 GPS 时间比对数据归化得到 UTC 0h 的[UTC-GPS Time],称为公共 GPS 时间尺度(Commam Time Scale of GPS Time)。

(2) USNO 方法:两天平滑-滤波,由美国海军天文台(USNO)每天接收的单星 GPS 时间比对数据归化得到 UTC 0h 的[UTC(USNO)-GPS Time]。

(3) SO 方法:三次样条函数插值-平滑,由中国上海天文台(SO)每天接收的单星 GPS 时间比对数据归化得到 UTC 0h 的[UTC(SO)-GPS Time]。

在下面的结果比较综述中,日本通信研究所(CRL)和中国陕西天文台(CSAO)的综合 GPS 时间,由 CRL 和 CSAO 每天接收单星 GPS 时间比对数据用 SO 方法归化得到 UTC 0h 的综合 GPS 时间数据[UTC(CRL)-GPS Time]_{so}和[UTC(CSAO)-GPS Time]_{so}。

由其它时间中心和时间实验室得到的综合 GPS 时间称为本地复原 GPS 时间(Local Restitution of GPS Time)

3 结果比较综述

表 1 是东亚共视区三个时间实验室(CRL, CSAO, SO)用共视法和综合法的 GPS 时间比对

确定的两地 UTC 时间同步精度比较。根据交换数据的计算分析,表明这三个实验室之间有部分卫星的接收数据是不完全严格共视或不共视,因此,两种方法相结合来比较,是实用有效的。

表 1 共视法和综合法 GPS 时间比对确定的两地 UTC 时间同步精度比较

Table 1 comparison of the precisions of UTC time synchronization determined by the common – veiw method and the synthesized method between two sites

时间 实验室	年 月	卫星接收状态		数据处理 方法	归算 星数	时间同步 精度 σ_x (ns)	频率稳定度 $\sigma_y(\tau)$	噪声 偏函数 B_2
		SA	共视					
UTC(CRL) - UTC(CSAO)	1999 1~6 按月 计算 结果	有	是	1.单星归算后多星平均	11	10.8	1.86×10^{-13}	0.748
		无	是	2.单星归算(PRN15)	1	10.5	1.55×10^{-13}	0.748
		有	是	3.多星平均后归算	12	6.8	1.02×10^{-13}	0.765
		多数有	部分是	4.多星综合后归算	22/19	7.3	0.89×10^{-13}	1.016
UTC(CRL) - UTC(SO)	1999 1~6 按月 计算 结果	有	是	1.单星归算后多星平均	12	14.2	1.85×10^{-13}	0.861
		无	是	2.单星归算(PRN15)	1	10.3	1.66×10^{-13}	0.754
		有	是	3.多星平均后归算	13	7.6	1.07×10^{-13}	0.820
		多数有	部分是	4.多星综合后归算	22/22	7.9	0.84×10^{-13}	1.065
UTC(CSAO) - UTC(SO)	1999 1~6 按月 计算 结果	有	是	1.单星归算后多星平均	11	14.1	1.97×10^{-13}	0.833
		无	是	2.单星归算(PRN15)	1	10.7	1.73×10^{-13}	0.760
		有	是	3.多星平均后归算	12	7.9	1.07×10^{-13}	0.805
		多数有	部分是	4.多星综合后归算	19/22	8.3	1.06×10^{-13}	0.903

注:“归算星数”中,“22/19”等表示 CRL 和 CSAO 分别用 22 颗和 18 颗卫星归算“综合 GPS 时间”,其它类同。

表 2 是国际上一些时间中心和时间实验室的 UTC 时间同步系统差和精度比较,采用由 TAI 时间公报确定的两地 UTC 时间差与由综合 GPS 时间确定的两地 UTC 时间差之差来统计

表 2 国际上两地 UTC 时间同步系统差和精度比较

Table 2 Comparison of the system deviations and precisions of GPS time synchronization between two sites

类别	两地 UTC 比较	1997 1 ~ 12 $\tau = 5$ day		1998 1 ~ 12 $\tau = 5$ day		1999 1 ~ 6 $\tau = 5$ day	
		系统差平均值 ns	精度 ns	系统差平均值 ns	精度 ns	系统差平均值 ns	精度 ns
ΔX_{BUS}	UTC - UTC(USNO)	-18.9	8.5	-4.9	5.8	-2.7	7.1
ΔX_{BICR}	UTC - UTC(CRL)	-1.4	9.7	-0.3	8.8	6.9	7.7
ΔX_{BICS}	UTC - UTC(CSAO)					6.1	10.7
ΔX_{BISO}	UTC - UTC(SO)	1.4	9.2	0.4	9.4	2.5	7.8
ΔX_{USCR}	UTC(USNO) - UTC(CRL)	17.9	8.0	4.2	9.3	10.5	8.8
ΔX_{USCS}	UTC(USNO) - UTC(CSAO)					9.9	10.6
ΔX_{USSO}	UTC(USNO) - UTC(SO)	20.7	10.0	4.6	10.4	5.5	7.0
ΔX_{CRCS}	UTC(CRL) - UTC(CSAO)					0.7	9.5
ΔX_{CRSO}	UTC(CRL) - UTC(SO)	2.5	10.3	-0.6	9.9	-4.3	7.2
ΔX_{CSSO}	UTC(CSAO) - UTC(SO)					-3.6	9.2

比较^[1,2,3,4,5,6,7],即扣除了各地 UTC 长期频率系统变化的影响。例如:

$$\Delta_{\text{BUS}} = [\text{UTC} - \text{UTC}(\text{USNO})]_{\text{BUL.}} - \{[\text{UTC} - \text{GPS Time}] - [\text{UTC}(\text{USNO}) - \text{GPS Time}]_{\text{GPS}}\}$$

$$\Delta_{\text{USCR}} = \{[\text{UTC} - \text{UTC}(\text{CRL})] - [\text{UTC} - \text{UTC}(\text{USNO})]\}_{\text{BUL.}} - \{[\text{UTC}(\text{USNO}) - \text{GPS Time}] - [\text{UTC}(\text{CRL}) - \text{GPS Time}]\}.$$

TAI 时间公报每月归算 $[\text{UTC} - \text{UTC}(\text{K})]$ 时采用各地的 GPS 共视时间比对数据,但每月各地被采用的星数可能不一样,其结果有差异。表 2 的结果也是共视法和综合法的一种比较。TAI 时间公报 5 天 1 个数据点,1997~1998 年各有 73 个数据点,1999 年只用了 6 个月数据,只有 37 个数据点,其统计误差比全年数据的统计误差大一些。

4 结 束 语

在确定两地协调世界时的时间同步水平时,共视法和综合法 GPS 时间比对两者相结合使用,效果更好。

参 考 文 献

- 1 BIPM Time Section, Annual Report and Circular, 1997~1999.6
- 2 U. S. Naval Observatory, Daily Differences, Series 4, 1997~1999.6
- 3 Communications Research Laboratory, GPS Time Measuring Values(E-mail), 1997~1999.4
- 4 陕西天文台. 时间频率公报, 1999(1~6)
- 5 上海天文台. 原子时公报, 1997~1999.6
- 6 胡锦涛. 综合 GPS 时间. 电波科学学报, 1997, 12(3):313~320
- 7 Hu J L, Huang P C. The Local Restitution of GPS Time at Shanghai Observatory. ICMMT98 国际会议, IEEE 刊物, 电子工业出版社(0-7803-4308-5/98), 446~471

A COMPARISON OF THE PRECISION OF GPS SYNCHRONIZATION IN THE COMMON - VIEW METHOD AND THE SYNTHESIZED METHOD

Hu Jinlun

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract

The synchronization precision of UTC at two sites determined by common - view and synthesized GPS time methods were compared. All the methods are of their own characteristics and are practicable. The precision of the GPS time synchronization for strict common - view method, non - strict common - view method and synthesized method is 5~10ns, 10~20ns and 6~12ns, respectively.

Key words global positioning system (GPS) — time comparison — time synchronism