第58卷 第4期 天 文 学 报 Vol.58 No.4
2017年7月 ACTA ASTRONOMICA SINICA Jul., 2017

doi: 10.15940/j.cnki.0001-5245.2017.04.002

BDS/GPS接收机系统间偏差稳定性分析

张 辉† 郝金明 田英国 于合理 周阳林

(信息工程大学导航与空天目标工程学院 郑州 450001)

摘要 接收机系统间偏差(Inter-System Bias, ISB)稳定性分析对于了解ISB误差特性和建模预报具有重要意义. 为了分析ISB的长期稳定性, 选择MGEX (Multiple Global Navigation Satellite System Experiment)网2014—2016年每年各1周的数据, 分别采用武汉大学和德国地学研究中心提供的精密钟差和轨道产品, 利用BDS (BeiDou Navigation Satellite System)/GPS (Global Positioning System)组合精密单点定位(Precise Point Positioning, PPP)计算测站的ISB值, 并对ISB的日稳定性和周稳定性进行了深入分析. 实验结果表明: ISB的日变化比较稳定, 日标准差平均值约为0.5 ns. 不同年份数据的ISB周平均值和周标准差的差异较大, 并且ISB周平均值与测站的接收机类型有关. 采用不同精密产品计算得到的ISB之间存在系统性偏差, 对于同一周不同测站的ISB周平均值, 该系统性偏差一致性较好.

关键词 天体测量学, 地球, 技术: 其他诸多方面, 方法: 数据分析

中图分类号: P128; **文献标识码**: A

1 引言

随着全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)的快速发展, 可用卫星和导航信号越来越丰富, 多系统导航数据融合能够提供更好的定位、导航和授时服务, 多系统PPP (Precise Point Positioning)已经成为了研究热点[1−5]. 为了更好地进行多系统数据融合, 必须充分考虑时空基准差异、系统间偏差(Inter-System Bias, ISB)等多种系统误差[6]. 理想情况下卫星天线发射信号和接收机天线接收信号是没有时间延迟的, 但是由于硬件设备的局限, 不同GNSS的信号在接收机中的时间延迟并不相同, 导致了硬件延迟偏差的出现. ISB包含硬件延迟偏差和系统时间偏差两部分[7].

ISB对多系统相对定位和精密单点定位都会产生不利影响, 因此受到了广泛的关注. Hâkansson等[8]对多系统GNSS码偏差和相位偏差进行了系统的研究, 认为不同导航系统的观测量即使组双差也无法完全消除ISB的影响. Paziewski等[9]研究了GPS-Galileo不同接收机之间ISB的稳定性以及对定位结果的影响, 验证了采用ISB先验值改正双差观测量可以提高模糊度固定成功率并缩短平均固定时间. Tegedor等[10]指出GPS-BDS (BeiDou

2016-12-01收到原稿, 2016-12-30收到修改稿

†zh_ljpd@163.com

Navigation Satellite System)的ISB与接收机类型强相关, 相同类型接收机的ISB也十分相近, 残余的微小差异可能与天线延迟、线缆延迟和不同测站硬件设备的热效应有关. Chen等[11]证明了ISB与坐标参数不相关, 可以被钟差和模糊度参数吸收, 并提出一种消去ISB参数的多系统PPP统一模型. Li等[12]提出一种GPS/GLONASS/Galileo/BDS 4系统PPP统一模型, 实验结果表明4系统PPP能够有效缩短收敛时间和提高定位精度. Jiang等[13]进行了GPS-BDS短期ISB建模和预报, 采用ISB预报值进行先验约束, GPS/BDS组合PPP在N、E、U方向的收敛时间明显缩短, E方向的定位精度得到提高.

虽然已经有许多学者对ISB进行了深入的研究, 但是目前对于ISB的长期稳定性分析还比较少. 对ISB进行长期稳定性分析, 有助于深入了解ISB的误差特性, 对于ISB建模和预报具有指导意义. 本文选择MGEX (Multiple Global Navigation Satellite System Experiment)网2014—2016年各1周的数据, 分别采用武汉大学和德国地学研究中心提供的精密钟差和轨道产品, 利用BDS/GPS组合PPP计算单个测站的ISB值, 并对ISB的日稳定性和周稳定性进行了深入分析.

2 数学模型

GPS伪距和载波相位消电离层组合观测方程为[14]:

$$\begin{aligned} P^{\mathrm{G}} &= \rho^{\mathrm{G}} + c(\mathrm{d}t_{\mathrm{G}} - \mathrm{d}t^{\mathrm{G}}) + (d_{r\mathrm{G}} - d^{\mathrm{G}}) + m^{\mathrm{G}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}} + \varepsilon_{\mathrm{P}}^{\mathrm{G}}, \\ L^{\mathrm{G}} &= \rho^{\mathrm{G}} + c(\mathrm{d}t_{\mathrm{G}} - \mathrm{d}t^{\mathrm{G}}) + (b_{r\mathrm{G}} - b^{\mathrm{G}}) + N^{\mathrm{G}} + m^{\mathrm{G}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}} + \varepsilon_{\mathrm{L}}^{\mathrm{G}}, \end{aligned} \tag{1}$$

其中P^{G}和L^{G}分别表示GPS的伪距和载波相位观测量, 单位为m, ρ^{G}为卫星天线相位中心至接收机天线相位中心的几何距离, c为光在真空中的速度, $\mathrm{d}t_{\mathrm{G}}$为接收机钟差, $\mathrm{d}t^{\mathrm{G}}$为卫星钟差, $d_{r\mathrm{G}}$、d^{G}和$b_{r\mathrm{G}}$、b^{G}分别为接收机、卫星的码硬件延迟和相位硬件延迟, m^{G}和$\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}}$分别为映射函数和对流层天顶延迟, N^{G}为相位模糊度, 单位为m, $\varepsilon_{\mathrm{P}}^{\mathrm{G}}$和$\varepsilon_{\mathrm{L}}^{\mathrm{G}}$分别为伪距和载波相位观测误差, 包括观测噪声和多路径误差.

通常在进行数据处理时, 将接收机码硬件延迟和钟差进行合并, 将相位硬件延迟和模糊度进行合并, 并利用伪距观测量提供钟差参数的时间基准. 采用精密钟差产品后, 卫星码硬件延迟被消除, GPS的观测方程可以表示为[13]:

$$\begin{aligned} P^{\mathrm{G}} &= \rho^{\mathrm{G}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} + m^{\mathrm{G}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}} + \varepsilon_{\mathrm{P}}^{\mathrm{G}}, \\ L^{\mathrm{G}} &= \rho^{\mathrm{G}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} + \bar{N}^{\mathrm{G}} + m^{\mathrm{G}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}} + \varepsilon_{\mathrm{L}}^{\mathrm{G}}, \end{aligned} \tag{2}$$

其中$\mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}}$为包含了偏差项的接收机钟差, $\bar{N}^{\mathrm{G}}$为包含了偏差项的相位模糊度:

$$\begin{aligned} c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} &= c\cdot \mathrm{d}t_{\mathrm{G}} + d_{r\mathrm{G}}, \\ \bar{N}^{\mathrm{G}} &= N^{\mathrm{G}} + b_{r\mathrm{G}} - b^{\mathrm{G}} - d_{r\mathrm{G}}. \end{aligned} \tag{3}$$

同理, BDS的观测方程为:

$$\begin{aligned} P^{\mathrm{C}} &= \rho^{\mathrm{C}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{C}} + m^{\mathrm{C}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{C}} + \varepsilon_{\mathrm{P}}^{\mathrm{C}}, \\ L^{\mathrm{C}} &= \rho^{\mathrm{C}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{C}} + \bar{N}^{\mathrm{C}} + m^{\mathrm{C}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{C}} + \varepsilon_{\mathrm{L}}^{\mathrm{C}}. \end{aligned} \tag{4}$$

在进行BDS/GPS组合PPP时, 为了保证两个系统的接收机钟差定义一致, 需要引入一个ISB参数[15]. 此时BDS/GPS组合PPP的观测方程为:

$$\begin{aligned}
P^{\mathrm{G}} &= \rho^{\mathrm{G}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} + m^{\mathrm{G}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}} + \varepsilon_{\mathrm{P}}^{\mathrm{G}},\\
L^{\mathrm{G}} &= \rho^{\mathrm{G}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} + \bar{N}^{\mathrm{G}} + m^{\mathrm{G}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{G}} + \varepsilon_{\mathrm{L}}^{\mathrm{G}},\\
P^{\mathrm{C}} &= \rho^{\mathrm{C}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} + c\cdot \mathrm{ISB} + m^{\mathrm{C}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{C}} + \varepsilon_{\mathrm{P}}^{\mathrm{C}},\\
L^{\mathrm{C}} &= \rho^{\mathrm{C}} + c\cdot \mathrm{d}\bar{t}_{\mathrm{G}} + c\cdot \mathrm{ISB} + \bar{N}^{\mathrm{C}} + m^{\mathrm{C}}\mathrm{ZTD}^{\mathrm{C}} + \varepsilon_{\mathrm{L}}^{\mathrm{C}},
\end{aligned} \tag{5}$$

其中$c\cdot\mathrm{ISB} = c(\mathrm{d}t_{\mathrm{C}} - \mathrm{d}t_{\mathrm{G}}) + d_{r\mathrm{C}} - d_{r\mathrm{G}}$. PPP的处理策略如下: 卫星高度截止角为7°, 对流层干延迟部分采用Saastamoinen模型进行改正, 湿延迟部分作为未知参数进行估计, ISB参数与观测文件采样间隔相同, 每30 s估计一次, GPS系统采用“igs08.atx”提供的卫星端和接收机端PCO (Phase Center Offset)、PCV (Phase Center Variation)改正值, BDS系统采用MGEX提供的卫星PCO改正值, 不改正卫星PCV, 接收机天线PCO和PCV改正采用GPS系统的改正值, 相对论效应、潮汐改正等误差根据相应模型进行改正.

3　实验分析

综合考虑测站的BDS/GPS可用卫星数和接收机类型, 选择MGEX网中的凯西站(CAS1)、科廷大学站(CUT0)、新诺尔恰站(NNOR)和圣诞岛站(XMIS) 4个测站进行实验, 其中CAS1、CUT0、XMIS站使用的是Trimble NetR9接收机, NNOR站使用的是Sept Polarx4接收机. 2015年NNOR站固件版本和XMIS站天线发生了变化, 2016年4个测站的固件版本均进行了升级, CAS1站的天线发生了变化. 表1为测站的接收机类型、固件版本和天线类型.

表 1　测站的接收机类型、固件版本和天线类型

Table 1　The receiver types, firmware versions, and antenna types of stations

Station	2014	2015	2016
CAS1	Trimble NetR9 4.81	Trimble NetR9 4.81	Trimble NetR9 5.01
	Unknown external	Unknown external	Leiar25.r3 Leit
CUT0	Trimble NetR9 4.85	Trimble NetR9 4.85	Trimble NetR9 5.10
	Trm59800.00 Scis	Trm59800.00 Scis	Trm59800.00 Scis
NNOR	Sept Polarx4 2.5.1p1	Sept Polarx4 2.5.2-esa3	Sept Polarx4 2.9.0
	Sepchoke_mc none	Sepchoke_mc none	Sepchoke_mc none
XMIS	Trimble NetR9 4.85	Trimble NetR9 4.85	Trimble NetR9 5.10
	Leiar25.r3 Leit	Trm59800.00 none	Trm59800.00 none

实验采用2014年1810周、2015年1838周和2016年1879周共3周的数据, 为了研究不同精密产品对ISB稳定性的影响, 分别使用武汉大学和德国地学研究中心(文件前缀分别为WUM和GBM)提供的精密轨道和钟差产品, 利用BDS/GPS组合PPP对测站的ISB进行估计. PPP定位精度会影响ISB的估计精度, 高精度PPP是ISB估计的先决条

件. 以2016年为例, 使用GBM精密产品测站静态PPP的水平定位精度为毫米至厘米级, 高程定位精度为厘米级, 如表2所示. 首先, 对ISB日稳定性进行统计. 先计算2014—2016年3周各测站每天的ISB标准差, 然后对一周7 d的ISB标准差计算平均值, 得到各测站的ISB日标准差(standard deviation, Std), Average表示该年4个测站ISB日标准差的平均值, 如表3所示; 其次, 对ISB周稳定性进行统计. 对2014—2016年3周各测站每周的ISB参数分别计算周平均值(Mean)和周标准差(Std), Average表示该年4个测站相应统计量的平均值, 如表4所示. 图1–4为2014—2016年测站的ISB时序图.

表 2 2016年使用GBM精密产品测站静态PPP在E、N、U方向的定位精度(单位: cm)

Table 2 The positioning RMS of static PPP solutions at the stations with precise products from GBM in the East, North, and Up components in 2016 (unit: cm)

Station	E	N	U
CAS1	2.5	0.5	1.9
CUT0	0.9	0.6	1.7
NNOR	0.8	0.4	2.8
XMIS	0.7	0.3	2.5

表 3 2014—2016年测站的ISB日标准差(单位: ns)

Table 3 The ISB diurnal standard deviations of stations from 2014 to 2016 (unit: ns)

WUM	Std			GBM	Std		
	2014	2015	2016		2014	2015	2016
CAS1	0.79	0.90	1.05	CAS1	0.89	0.88	0.89
CUT0	0.32	0.13	0.28	CUT0	0.50	0.17	0.58
NNOR	0.46	0.22	0.38	NNOR	0.40	0.22	0.68
XMIS	0.33	1.08	0.22	XMIS	0.45	0.70	0.54
Average	0.48	0.58	0.48	Average	0.56	0.49	0.67

从日稳定性方面来看, 由表3可知: 使用WUM精密产品计算的ISB在1 d当中的变化十分稳定, 大部分测站的日标准差都小于1 ns, 日标准差最大值为1.08 ns, 最小值为0.13 ns. Zhang等人的研究表明接收机硬件延迟偏差与硬件温度具有相关性[16]. 在1 d当中硬件温度与地方时有关, 硬件延迟偏差也会随之变化, 因此会对ISB日稳定性产生一定影响. 3 yr的日标准差很相近, 没有出现随时间变化的现象, 2014年、2015年和2016年的日标准差分别为0.48 ns、0.58 ns和0.48 ns. 使用GBM精密产品计算的ISB日稳定性基本相同. 这说明测站的ISB日变化是比较稳定的, 在实时定位中为了提高计算效率, 可以将1 d的ISB作为常数进行估计或每隔几个小时估计一次.

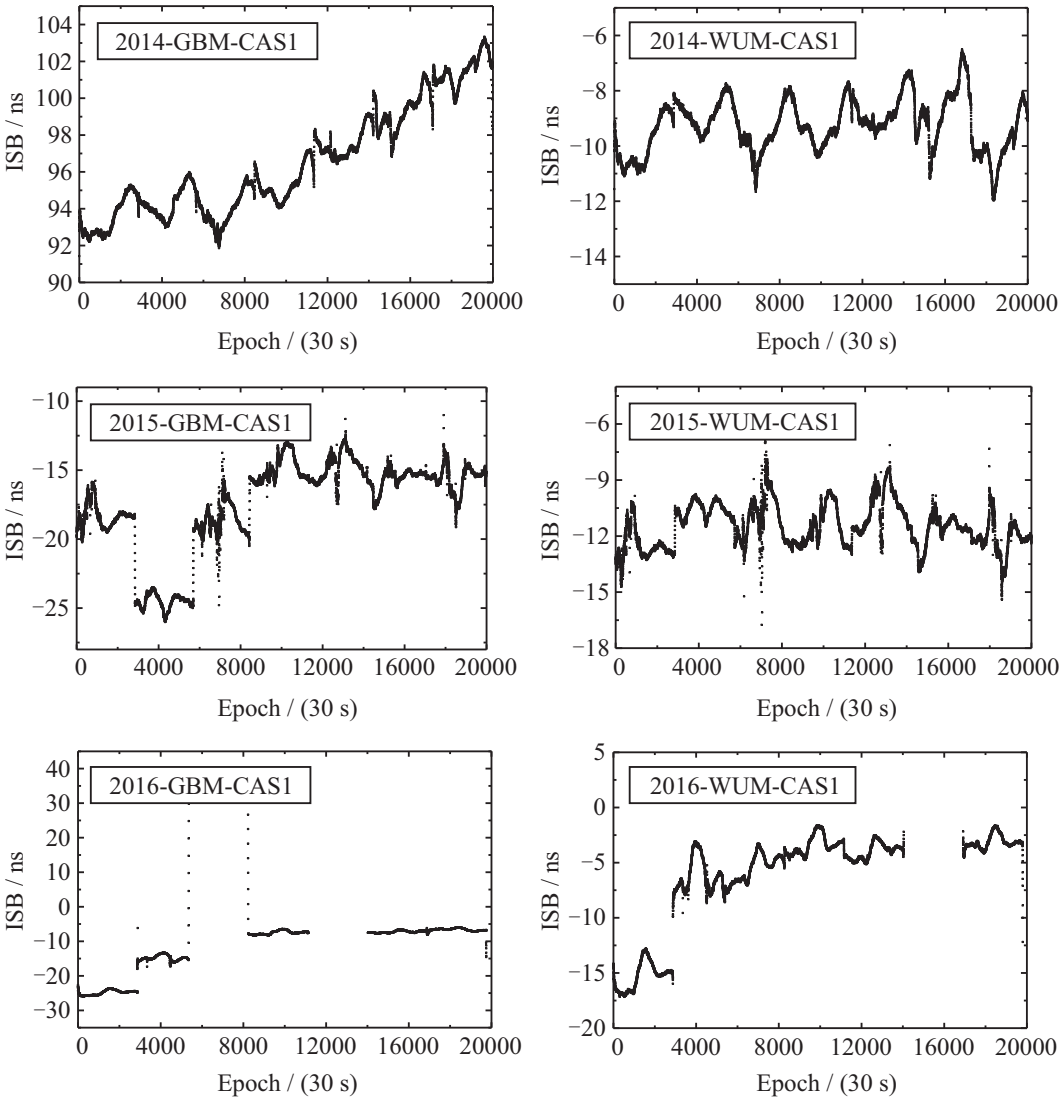

图 1　2014—2016年CAS1的ISB时序图

Fig. 1　The sequence chart of the ISB solutions of CAS1 from 2014 to 2016

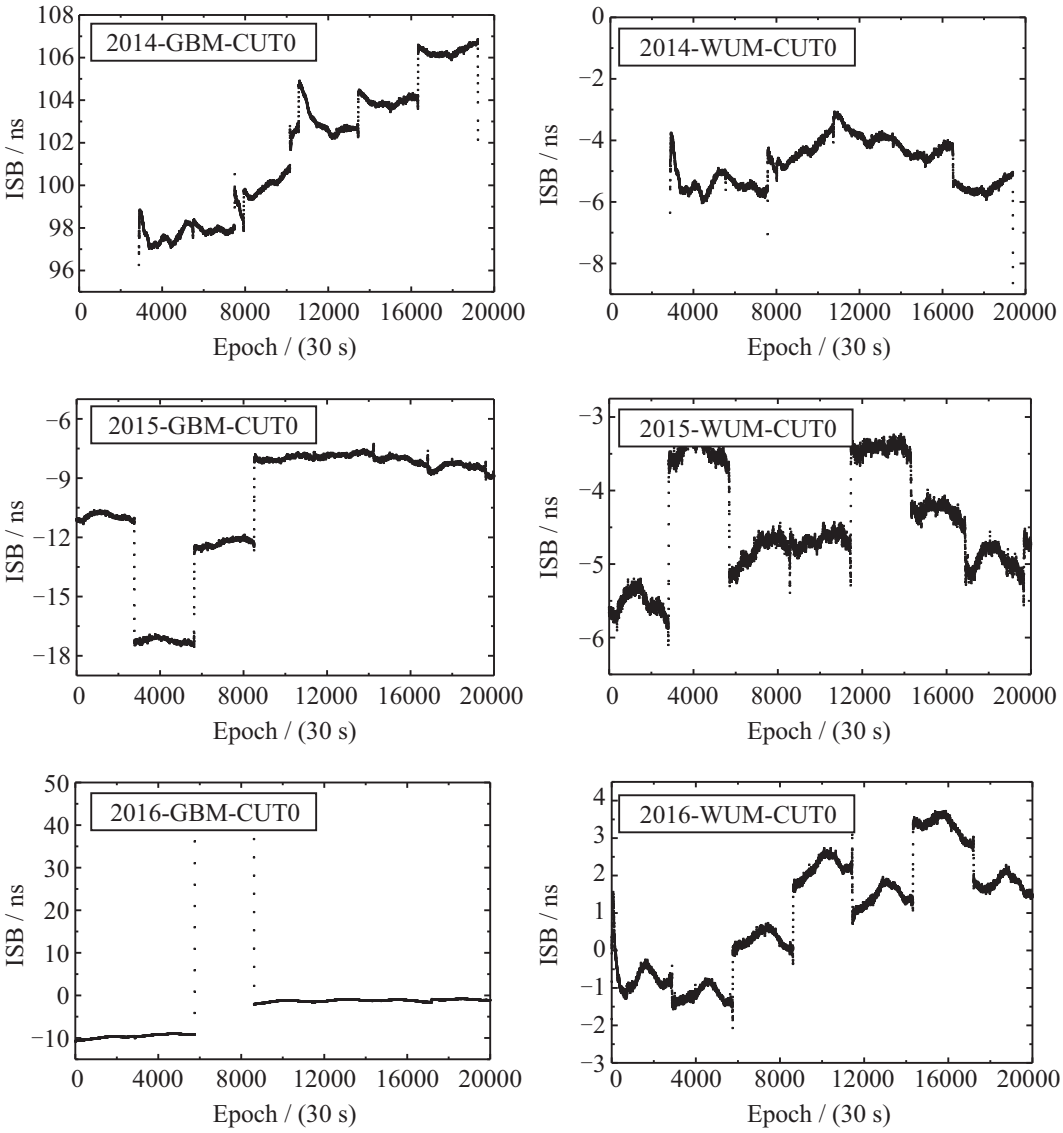

图 2　2014—2016年CUT0的ISB时序图

Fig. 2　The sequence chart of the ISB solutions of CUT0 from 2014 to 2016

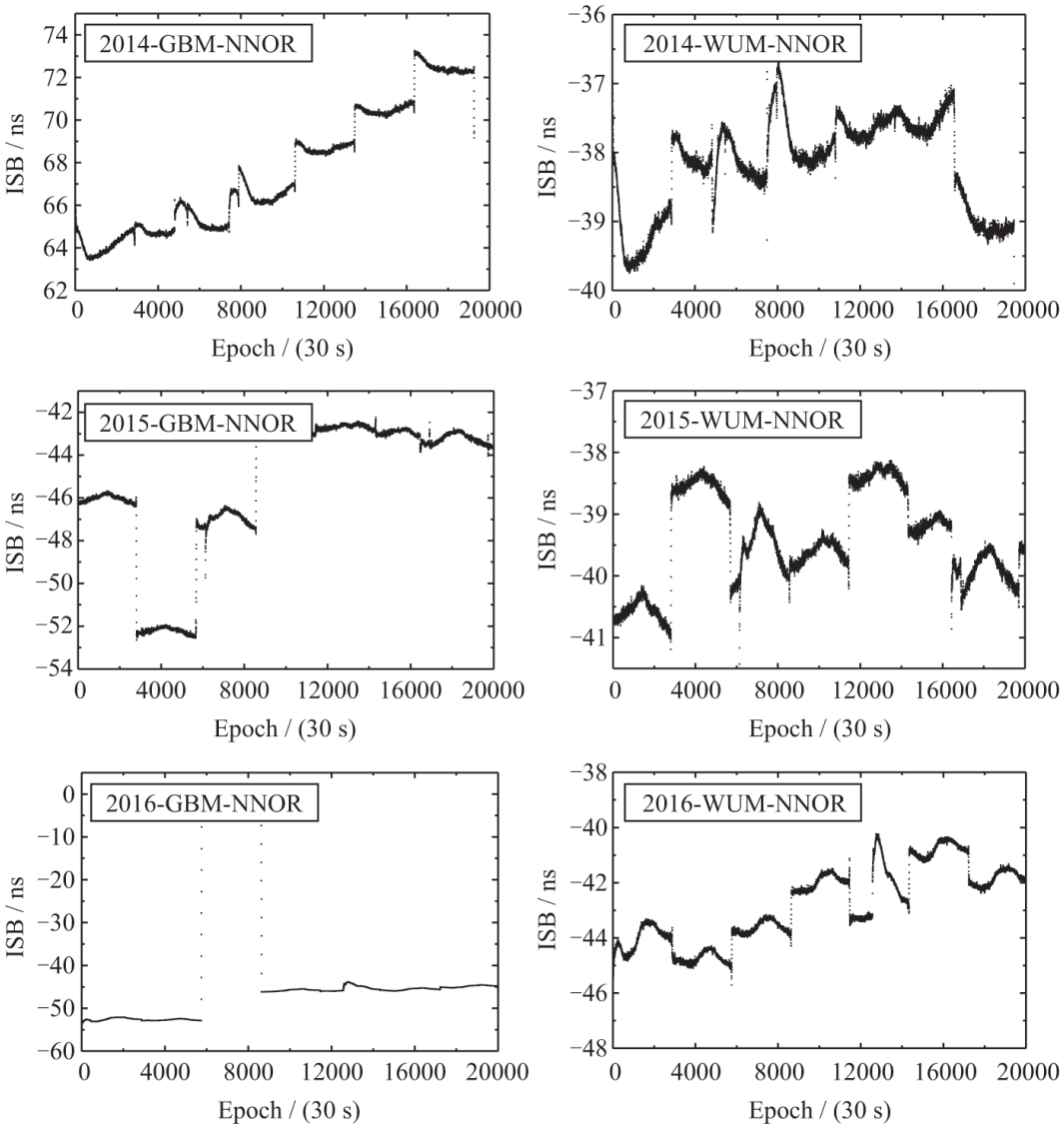

图 3　2014—2016年NNOR的ISB时序图

Fig. 3　The sequence chart of the ISB solutions of NNOR from 2014 to 2016

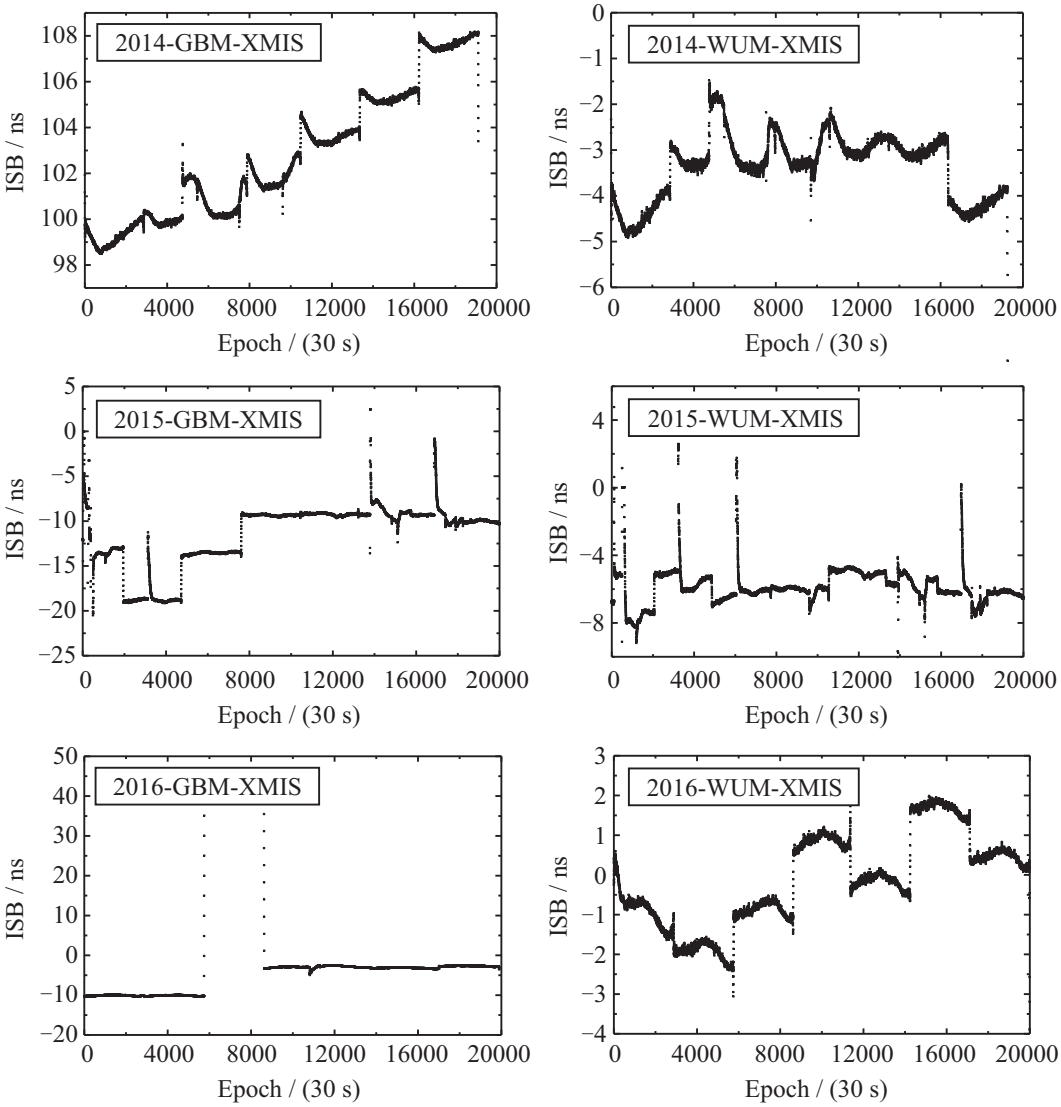

图 4　2014—2016年XMIS的ISB时序图

Fig. 4　The sequence chart of the ISB solutions of XMIS from 2014 to 2016

从周稳定性方面来看, 由表4可知: 同一测站同一观测时间使用两种不同的精密产品计算得到ISB差异很大. 以2014年1810周为例, CAS1、CUT0、NNOR、XMIS 4个测站, 使用WUM精密产品得到的ISB, 周平均值分别为−9.26 ns、−4.76 ns、−38.18 ns、−3.36 ns, 周标准差分别为0.96 ns、0.73 ns、0.68 ns、0.71 ns. 使用GBM精密产品得到的ISB, 周平均值分别为96.52 ns、101.73 ns、67.64 ns、102.79 ns, 周标准差分别为2.96 ns、3.17 ns、2.92 ns、2.87 ns. 使用两种精密产品计算得到的ISB周平均值相差了100 ns左右. 原因是ISB包含了硬件延迟偏差和系统时间偏差, 而不同分析中心的精密产品之间存在系统性偏差. 将同一周同一测站使用两种不同精密产品得到的ISB周平均值

做差, 发现不同测站的差值几乎相同. 由表5可知: 2014年1810周4个测站各自不同精密产品的ISB差值分别为105.78 ns、106.49 ns、105.82 ns、106.15 ns, 最大互差为0.71 ns, 2015年1838周和2016年1879周各个测站的ISB差值统计结果也符合这一特点, 最大互差分别为0.22 ns和0.84 ns. 由图5可知: 4个测站处于3个不同年份共3周的数据均符合该特点, 充分证明了使用不同精密产品计算得到的ISB之间存在系统性偏差, 且对于同一周不同测站的ISB周平均值该系统性偏差一致性较好.

表 4　2014—2016年测站的ISB周平均值和周标准差(单位: ns)

Table 4 The ISB weekly averages and standard deviations of stations from 2014 to 2016 (unit: ns)

WUM	2014		2015		2016	
	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
CAS1	−9.26	0.96	−11.46	1.16	−6.27	4.36
CUT0	−4.76	0.73	−4.46	0.73	1.02	1.52
NNOR	−38.18	0.68	−39.42	0.74	−42.77	1.38
XMIS	−3.36	0.71	−5.88	1.32	−0.13	1.15
Average	−13.89	0.77	−15.31	0.99	−12.04	2.10
GBM	2014		2015		2016	
	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
CAS1	96.52	2.96	−17.44	3.34	−4.11	18.84
CUT0	101.73	3.17	−10.39	3.21	2.44	16.27
NNOR	67.64	2.92	−45.30	3.24	−41.36	16.13
XMIS	102.79	2.87	−11.98	7.94	1.19	16.28
Average	92.17	2.98	−21.28	4.43	−10.46	16.88

表 5　同一周相同测站不同精密产品的ISB周平均值之差(单位: ns)

Table 5 Difference of the ISB weekly averages of the same station from different precise products (unit: ns)

Station	2014	2015	2016
CAS1	105.78	−5.98	2.16
CUT0	106.49	−5.93	1.42
NNOR	105.82	−5.88	1.41
XMIS	106.15	−6.10	1.32

不同年份之间ISB的周平均值和周标准差也不相同, 主要体现为两个特点. 第一, 2014—2016年的ISB周平均值有变小的趋势, 使用WUM精密产品得到的ISB, 2014年、2015年和2016年的ISB周平均值分别为−13.89 ns、−15.31 ns和−12.04 ns, 使用GBM精密产品得到的ISB周平均值该趋势更为明显, 3 yr的周平均值分别为92.17 ns、

−21.28 ns和−10.46 ns. 硬件延迟偏差在不同时期的变化与接收机硬件温度和固件版本有关, 这会造成周平均值的变化. 具体到测站, 使用Trimble NetR9接收机的CAS1、CUT0和XMIS 3个站该趋势十分明显, 但使用Sept Polarx4接收机的NNOR站该趋势不明显. 第二, 在ISB周标准差方面, 2014年的周标准差最小, 2015和2016年的周标准差较大. 以使用GBM精密产品得到的ISB为例, 2014年、2015年和2016年的ISB周标准差分别为2.98 ns、4.43 ns和16.88 ns. 原因是2014年的ISB连续性较好, 天与天之间的跳变很小, 而在2015和2016年, 由于分析中心在计算卫星精密钟差时天与天之间基准钟的调整, 导致ISB在天与天之间出现了较大的跳变, 这是影响ISB周稳定性的因素之一. 2015年XMIS站解算结果出现明显跳点, 据分析, 其主要原因是受卫星高度角变化和观测质量的影响, 部分历元的可用卫星数明显减少, 导致计算过程中参数误差在重新调整后逐渐稳定.

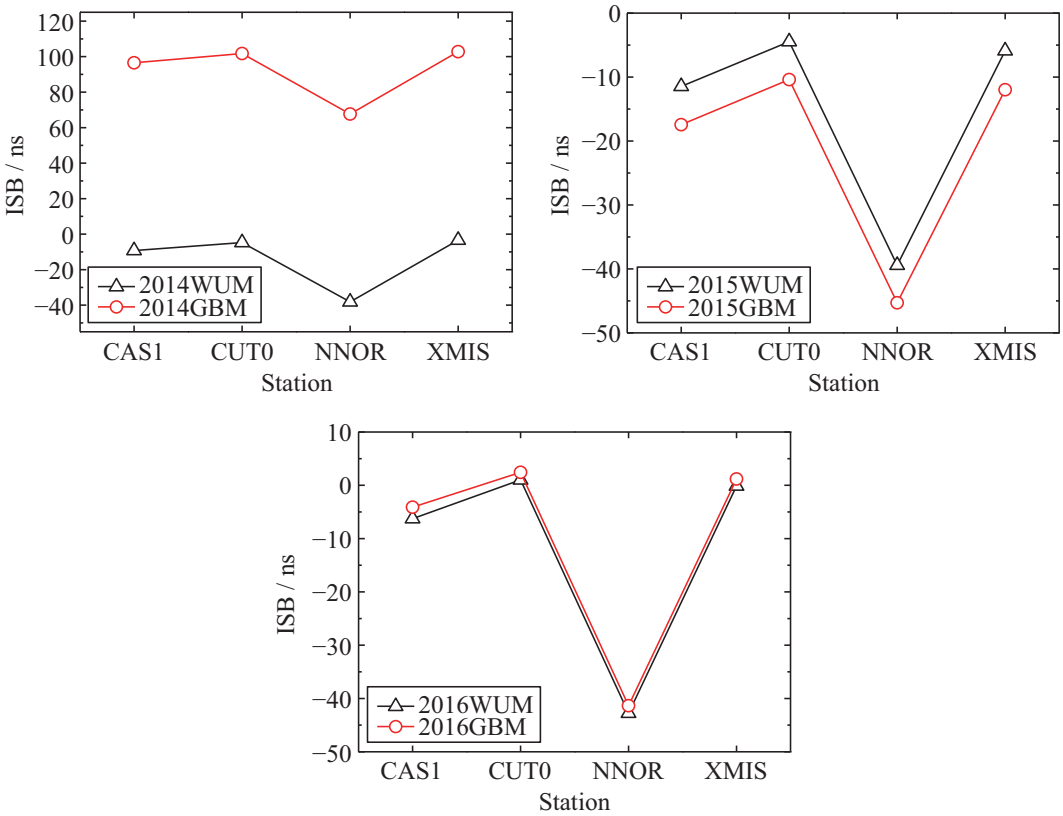

图 5　2014—2016年测站的ISB周平均值

Fig. 5　The ISB weekly averages of stations from 2014 to 2016

从接收机类型来看, 由图6–7可知: 采用3周数据使用两种不同精密产品计算得到的ISB周平均值均与接收机类型相关. 使用Trimble NetR9接收机的CAS1、CUT0和XMIS站的ISB比较接近, 而使用Sept Polarx4接收机的NNOR站的ISB与其他3个站差异很大. 以2016年1879周为例, 使用WUM精密产品CAS1、CUT0和XMIS测站的ISB周平均值分

别为−6.27 ns、1.02 ns和−0.13 ns, 而NNOR站的ISB周平均值要大很多, 为−42.77 ns. 使用其他2周的数据也可以得到相同的结论. 因此在进行多系统相对定位时, 如果基线两端使用不同厂家的接收机, 即使对观测量进行双差组合也无法完全消除ISB, 因此必须考虑差分ISB的影响.

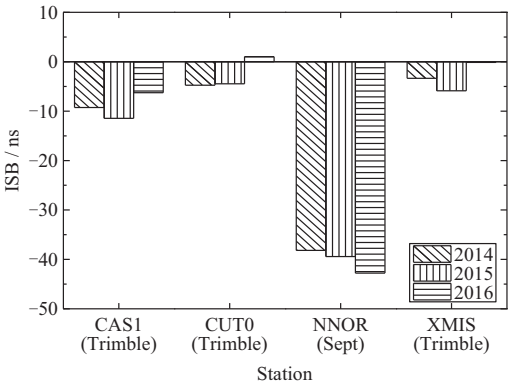

图 6　不同类型接收机采用WUM精密产品得到的2014—2016年ISB周平均值

Fig. 6　The ISB weekly averages for different types of receivers with the precise products of WUM from 2014 to 2016

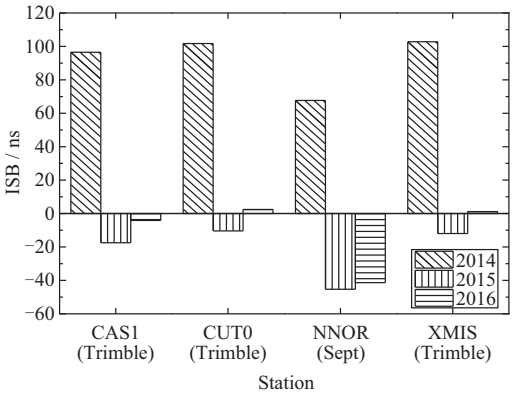

图 7　不同类型接收机采用GBM精密产品得到的2014—2016年ISB周平均值

Fig. 7　The ISB weekly averages for different types of receivers with the precise products of GBM from 2014 to 2016

4　结论

为了分析ISB的长期稳定性, 本文选择MGEX网2014—2016年各1周的数据, 分别采用WUM和GBM两种不同精密产品利用BDS/GPS组合PPP计算测站的ISB值, 并对ISB的日稳定性和周稳定性进行了详细分析, 得到的主要结论为:

(1) 2014—2016年3周数据的ISB日标准差平均值约为0.5 ns, 说明ISB的日变化比较稳定, 硬件延迟偏差变化较小, 为了提高计算效率可以将1 d的ISB作为常数进行估计.

(2) 2014—2016年不同年份数据的ISB周平均值和周标准差的差异较大, 周平均值的差异可能与接收机硬件延迟偏差变化有关, 周标准差的差异与不同年份卫星精密钟差产品天与天之间的跳变大小有关.

(3)同一周同一测站采用不同精密产品计算得到的ISB周平均值之间存在系统性偏差, 且对于不同测站的ISB周平均值该系统性偏差一致性较好.

(4) ISB周平均值与测站的接收机类型有关, 采用同一周数据Trimble NetR9和Sept Polarx4接收机的ISB周平均值差异很大, 在多系统相对定位中如果基线两端使用不同厂家的接收机就必须考虑差分ISB的影响.

参 考 文 献

[1] 李盼. GNSS精密单点定位模糊度快速固定技术和方法研究. 武汉: 武汉大学, 2016: 3-7
[2] 辜声峰. 多频GNSS非差非组合精密数据处理理论及其应用. 武汉: 武汉大学, 2013: 1-6

[3] Liu Y, Ye S, Song W, et al. GPS Solutions, 2017, 21: 333
[4] Li J, Yang Y, Xu J, et al. GPS Solutions, 2015, 19: 5
[5] Zhang W, Lou Y, Gu S, et al. GPS Solutions, 2016, 20: 665
[6] Deng C, Tang W, Liu J, et al. GPS Solutions, 2014, 18: 375
[7] Dalla T A, Caporali A. GPS Solutions, 2015, 19: 297
[8] Hâkansson M, Jensen A B O, Horemuz M, et al. GPS Solutions, 2016, DOI: 10.1007/s10291-016-0572-7
[9] Paziewski J, Wielgosz P. JGeod, 2015, 89: 81
[10] Tegedor J, Øvstedal O, Vigen E. JGeoS, 2014, 4: 65
[11] Chen J, Zhang Y, Wang J, et al. AdSpR, 2015, 55: 125
[12] Li X, Zhang X, Ren X, et al. NatSR, 2015, 5: 8328
[13] Jiang N, Xu Y, Xu T, et al. GPS Solutions, 2017, 21: 163
[14] 张小红, 左翔, 李盼. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38: 561
[15] 陈华. 基于原始观测值的GNSS统一快速精密数据处理方法. 武汉: 武汉大学, 2016: 39-41
[16] Zhang B, Teunissen P J G. ChSBu, 2015, 60: 1840

Stability Analysis of Receiver ISB for BDS/GPS

ZHANG Hui HAO Jin-ming TIAN Ying-guo YU He-li ZHOU Yang-lin

(School of Navigation and Aerospace Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450001)

Abstract Stability analysis of receiver ISB (Inter-System Bias) is essential for understanding the feature of ISB as well as the ISB modelling and prediction. In order to analyze the long-term stability of ISB, the data from MGEX (Multi-GNSS Experiment) covering 3 weeks, which are from 2014, 2015 and 2016 respectively, are processed with the precise satellite clock and orbit products provided by Wuhan University and GeoForschungsZentrum (GFZ). Using the ISB calculated by BDS (BeiDou Navigation Satellite System)/GPS (Global Positioning System) combined PPP (Precise Point Positioning), the daily stability and weekly stability of ISB are investigated. The experimental results show that the diurnal variation of ISB is stable, and the average of daily standard deviation is about 0.5 ns. The weekly averages and standard deviations of ISB vary greatly in different years. The weekly averages of ISB are relevant to receiver types. There is a system bias between ISB calculated from the precise products provided by Wuhan University and GFZ. In addition, the system bias of the weekly average ISB of different stations is consistent with each other.

Key words astrometry, earth, techniques: miscellaneous, methods: data analysis