

中国科学引文数据库(CSCD)
 中文科技期刊数据库
 中国核心期刊(遴选)数据库
 日本科学技术振兴机构数据库(JST)

・中国学术期刊(网络版)(CNKI) ・中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)

• 中国超星期刊域出版平台

#### 改正通道延迟的GLONASS/BDS组合伪距定位

罗 元,苏本磊

#### Calibrate inter-channel bias in GLONASS/BDS combined pseudorange positioning

LUO Yuan and SU Benlei

引用本文:

罗元, 苏本磊. 改正通道延迟的GLONASS/BDS组合伪距定位[J]. 全球定位系统, 2022, 47(1): 86-92. DOI: 10.12265/j.gnss.2021101307 LUO Yuan, SU Benlei. Calibrate inter-channel bias in GLONASS/BDS combined pseudorange positioning[J]. Gnss World of China, 2022, 47(1): 86-92. DOI: 10.12265/j.gnss.2021101307

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021101307

#### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 合理权比对GPS / BDS伪距单点定位结果的影响分析

Analysis of Influence of Reasonable Weight Ratio on Single Point Positioning of GPS / BDS Pseudorange

全球定位系统. 2017, 42(3): 48-53

#### BDS-3新频率与Galileo单频组合伪距单点定位精度分析

Accuracy analysis of single-point positioning in pseudo-range combined with BDS-3 new frequency and Galileo single frequency 全球定位系统. 2021, 46(1): 57-61

#### 神经网络在SINS/GPS组合定位中的应用

Application of neural network in SINS/GPS combined positioning 全球定位系统. 2021, 46(2): 104-110

#### 地磁暴对北斗用户伪距定位的影响分析

Analysis on the influence of geomagnetic storm of BDS pseudorange positioning 全球定位系统. 2019, 44(1): 82-88

BDS-2/BDS-3伪距单点定位精度分析

Accuracy analysis of BDS-2 / BDS-3 standard point positioning 全球定位系统. 2020, 45(1): 19-25

#### GPS / BDS / GLONASS组合伪距单点定位性能测试与分析

Test and Analysis of GPS / BDS / GLONASS Combined Pseudo range Point Positioning Performance 全球定位系统. 2017, 42(2): 25-31



关注微信公众号,获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2021101307

## 改正通道延迟的 GLONASS/BDS 组合伪距定位

#### 罗元,苏本磊

(西南民族大学电子信息学院,成都610041)

摘 要:由于俄罗斯的 GLONASS 卫星间频率存在差异,测站硬件延迟误差无法被接收机 钟差参数吸收,提出为每颗卫星估计一个通道延迟改正参数的方法,以提升 GLONASS/BDS 组 合伪距定位精度.实验表明:加入通道延迟改正能有效降低 GLONASS 定位误差,改正后东(E)、 北(N)、天顶(U)方向误差的均方根(RMS)值分别减小了 0.43 m、0.69 m、0.73 m,并且改正效果长 期有效.在测站北斗卫星导航系统(BDS)观测效果有限时,GLONASS/BDS 双系统组合伪距定位 较 BDS 单系统性能更佳,改正通道延迟后,能进一步提升双系统定位性能,改正后 E、N、U 方向 的误差 RMS 值分别减小了 0.37 m、0.28 m、0.5 m.

关键词:通道延迟;残差分析;组合定位;伪距定位;定位精度;时空统一 中图分类号:P228.4 文献标志码: A 文章编号:1008-9268(2022)01-0086-07

#### 0 引 言

伪距单点定位具有原理简单、定位速度快的特 点, 被应用于各个领域. 目前, 一些学者对全球卫星导 航系统 (GNSS) 组合单点定位进行了相关的研究<sup>[1-3]</sup>. 研究表明: GNSS 组合伪距单点相对于单系统定位, 在卫星可见数、卫星几何分布以及卫星高度角等方 面均有更好的性能. 与美国的 GPS、欧盟的 Galileo、 中国的北斗卫星导航系统 (BDS) 均采用码分多址 (CDMA) 技术进行卫星信号传输不同, 俄罗斯的 GLONASS 采用频分多址 (FDMA) 进行信号传输,由 于卫星间有不同的信号传输频率, GLONASS 在接收 端的存在硬件通道延迟<sup>14</sup>,并且不同的卫星接收机与 接收天线可能存在不同的误差特性<sup>[5]</sup>. 伪距定位精度 一般在 10 m 以内. 相关研究表明: 伪距定位中自通道 延迟的误差可以大至数米<sup>66</sup>,这可能会严重影响 GLONSASS 卫星定位精度.目前,一些学者对 GLONASS/GPS、GPS/BDS 双系统组合定位以及 GPS/BDS/GLONASS 三系统组合定位进行了相关的 研究,研究表明:多系统组合伪距单点定位可以提高 定位的稳定度和精度[7-10]. 但是对改正通道延迟的 GLONASS 卫星定位效果研究较少. 2017 年中俄共同 签署了"关于开展卫星导航系统监测评估联合服务的

声明",双方承诺,将在中俄项目委员会的框架下,持续开展卫星导航系统性能监测评估合作,向全球 BDS、GLONASS用户提供信息服务.因此,改正通道 延迟的 GLONASS/BDS 双系统组合伪距单点解算性 能值得进一步深入研究.

本文在现有研究的基础上,考虑到 BDS 与 GLONASS 之间的时间和坐标系统差异,推导了 BDS/ GLONASS 双系统组合定位的数学模型,并且顾及 GLONASS 通道延迟,采用估计的方式分析 GLONASS 定位残差,引入通道延迟改正参数,得出改正通道延 迟 GLONASS/BDS 在组合伪距单点定位时较优的解 算结果.

### 1 双系统组合伪距定位模型

#### 1.1 时空基准统一

在组合定位中,常用的时空统一法是以某一系统的时空为基准,将其他卫星系统时空参数转至当前基准下,对此相关领域内已有深入研究<sup>[11]</sup>,此处不再赘述.给出 BDS 与 GLONASS 时间基准相统一的计算公式<sup>[12]</sup>

$$T_{\text{BDS}} = T_{\text{GLONASS}} + 1 \text{ s} \times 37 - 19 \text{ s} - 14 \text{ s}$$
$$= T_{\text{GLONASS}} + 4 \text{ s}. \tag{1}$$

收稿日期:2021-10-13 资助项目:西南民族大学研究生创新型科研项目(CX2021SP111) 通信作者:苏本磊 E-mail: subenlei@qq.com

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{BDS} = \begin{bmatrix} -0.235 \\ 0.995 \\ -0.78 \end{bmatrix} + (1 - 5.487 \times 10^{-6}) \times \\\begin{bmatrix} 1 & 1.809 \times 10^{-6} & -0.008 \times 10^{-6} \\ 1.809 \times 10^{-6} & 1 & 0.038 \times 10^{-6} \\ 0.008 \times 10^{-6} & -0.038 \times 10^{-6} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GLONAS}$$
(2)

式中:  $T_{BDS}$ 为采用协调世界时 (UTC) 时间基准的北斗时;  $T_{GLONASS}$ 为采用 UTC (SU) 时间基准的 GLONASS 卫星系统时间;  $[X; Y; Z]_{BDS}$ 为采用 CGCS2000 坐标系统的 BDS 卫星坐标;  $[X; Y; Z]_{GLONASS}$ 为采用 PZ-90 坐标系统的 GLONASS 卫星坐标.

#### 1.2 GLONASS 广播星历残差模型

采用国际 GNSS 服务 (IGS) 参考网站提供的伪 距观测值和广播星历, 对于 GLONASS 卫星可建立 观测方程为

$$\rho = \hat{\rho} + c \times \delta t_r - c \times \delta t_s - T.$$
(3)

式中: $\rho$ 为 GLONASS 的 G1 与 G2 双频消电离层组 合观测值,此时未考虑 GLONASS 卫星间的频率差 异, $\rho = \frac{r}{(r-1)} \times \frac{(G1-G2)}{r}, (r = \frac{81}{49})^{[4]}; \hat{\rho}$ 为卫星与测 站的几何距离; $\delta t_r$ 为接收机钟差; $\delta t_s$ 为卫星*i*钟差;*T* 为对流层延迟.

为了分析 GLONASS 的通道延迟, 得到 GLONASS 伪距单点定位残差方程为

$$\operatorname{RES}^{i} = \rho - [\hat{\rho} + c\delta t_{r} - c\delta t_{s} + T].$$
(4)

式中, RES'为第*i*颗卫星与测站位置的定位残差.研究 表明:不同观测卫星间的残差具有明显的统计特性差 异,正是由于通道延迟引起的误差<sup>[13]</sup>.以某一颗卫星 残差均值为基准,将其他卫星与该卫星的残差均值作 差,得到通道延迟改正参数*δt<sup>i,ICB</sup>*.

#### 1.3 改正通道延迟的 GLOANSS/BDS 组合定位模型

将分析得到的残差改正参数加入 GLONASS 的 定位方程,并参与组合定位可得到,改正通道延迟的 GLOANSS/BDS 组合定位方程:

$$\rho_j^{\mathrm{R},i} = \hat{\rho}_j^{\mathrm{R},i} + c \times \delta t_j^{\mathrm{R},i} - c \times \delta t_{j,\mathrm{S}}^{\mathrm{R}} - T_j^i - c \delta t_j^{\mathrm{LCB}},$$

$$\rho_j^{\mathrm{C},i} = \hat{\rho}_j^{\mathrm{C},i} + c \times \delta t_j^{\mathrm{C},i} - c \times \delta t_{j,\mathrm{S}}^{\mathrm{C}} - T_j^i.$$
(5)

式中: R、C 分别代表 GLONASS、BDS 卫星; S 为接 收机; i, j 分别为卫星号、接收机号;  $\rho_j^{\text{R}i}$ 、 $\rho_j^{\text{C}i}$ 为卫星 与接收机的无电离层伪距观测值;  $\hat{\rho}_j^{\text{R}i}$ 、 $\hat{\rho}_j^{\text{C}i}$ 为卫星与 测站的几何距离;  $\delta t_j^{\text{R}i}$ 、 $\delta t_j^{\text{C}i}$ 分别为各系统卫星钟差参 数;  $\delta t_{js}^{\text{R}}$ 、 $\delta t_{js}^{\text{C}}$ 为两系统各估计出的站钟差参数;  $T_j^i$ 为 对流层延迟参数;  $\delta t_j^{\text{iICB}}$ 为 GLONASS 卫星间通道延 迟改正参数; c 为光速, 取 c= 299 792 458 m/s. 对于以 上两个观测方程, 在测站接收机近似坐标(X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub>) 处进行泰勒级数展开, 得到双系统误差方程<sup>[14]</sup>

$$\begin{bmatrix} V_{1} \\ \vdots \\ V_{n} \\ V_{n+1} \\ \vdots \\ V_{n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{1} & a_{1} & b_{1} & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{n} & a_{n} & b_{n} & 1 & 0 \\ l_{n+1} & a_{n+1} & b_{n+1} & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{n+m} & a_{n+m} & b_{n+m} & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{x} \\ \sigma_{y} \\ \sigma_{z} \\ c\delta t_{j}^{\mathrm{R}} \\ c\delta t_{j}^{\mathrm{C}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_{1} \\ \vdots \\ L_{n} \\ L_{n+1} \\ \vdots \\ L_{n+m} \end{bmatrix}.$$
(6)

式中:n、m分别为观测到的 GLONASS、BDS 卫星数 量; $l_f$ 、 $a_f$ 、 $b_f$ ( $f = 1, \dots, n, n+1, \dots, n+m$ )为从测站 近似位置( $X_0, Y_0, Z_0$ )至卫星i方向上的方向余弦,

$$\begin{split} l_{f} &= \frac{(X^{f} - X_{0})}{\rho_{j}^{f}}, \ \frac{a_{1} = (Y^{f} - Y_{0})}{\rho_{j}^{f}}, \ \frac{b_{1} = (Z^{f} - Z_{0})}{\rho_{j}^{f}}; \ L_{1}, \cdots, \\ L_{n+m} \end{pmatrix} \ \mathring{\mathbb{R}} \ \mathfrak{Y} \ \mathfrak{Y}, \ L_{1}, \cdots, L_{n} = \hat{\rho}_{j}^{\mathrm{R},i} - \rho_{j}^{\mathrm{R},i} + c \times \delta t_{j,\mathrm{S}}^{\mathrm{R}} - T_{j}^{i} - \\ c \delta t_{j}^{i,\mathrm{ICB}}, \ L_{n+1}, \cdots, L_{n+m} = \hat{\rho}_{j}^{\mathrm{C},i} - \rho_{j}^{\mathrm{C},i} + c \times \delta t_{j}^{\mathrm{C},i} - T_{j}^{i}; \ \sigma_{x}, \ \sigma_{y}, \\ \sigma_{z}, \ \delta t_{j}^{\mathrm{R}}, \ \delta t_{j}^{\mathrm{C}} \end{pmatrix} \mathring{\mathrm{F}} \mathring{\mathrm{f}}$$

式(6)中,令系数矩阵为A,待估参数矩阵为Â, 常数项矩阵为L,则误差方程可写为

$$V = A\hat{X} - L. \tag{7}$$

$$\hat{\boldsymbol{X}} = \left(\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{P}\boldsymbol{A}\right)^{-1}\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{P}\boldsymbol{L}.$$
(8)

显然式中有 5 个待估参数,理论上需要双系统中 至少 5 颗观测量才能进行定位结算.式中 P 为权值矩 阵.为了探究改正通道延迟的 GLONASS 与 BDS 组 合伪距定位的效果,对两系统的观测权值取 [1:1] 即 可.最终定位得出的测站坐标为

$$[X;Y;Z] = [X_0;Y_0;Z_0] + \hat{X}.$$
(9)

#### 2 实验结果与分析

#### 2.1 数据来源与分析方法

为了分析改正通道延迟的 GLONASS 定位、改 正通道延迟的 GLONASS/BDS 组合定位结果,选取 IGS 观测网位于北美洲的 SCRZ 测站 RINEX<sup>[15]</sup> 版本 数据文件进行实验分析.由图 1 可知, SCRZ 测站对 BDS 卫星可见性为 8~10颗.观测时段为 2021 年年 积日 (DOY)214—217 共 4 天,观测数据文件采样率 为 30 s,误差模型中采用无电离层观测值和对流经验 改正值<sup>[16]</sup>.并以 IGS 最终产品 SNX 数据文件<sup>[17]</sup> 测站 位置为标准,对比定位效果.

由于改正的通道延迟参数与测站硬件密切相关, 表1给出测站接收机和天线的配置情况.



	表 1 测站接收机及天线配置情况				
测站	接收机类型	接收机版本号	天线类型		
SCRZ	LEICA GR10	4.12/6.712	LEIAR10		

#### GLONASS 单系统定位 2.2

根据式 (3)~(4), 首先对 GLONASS 通道延迟进 行探测,图 2 中直接采用 GLONASS 卫星进行伪距 单点定位. 其中图 2(a) 为 E、N、U 方向上的定位误 差;图 2(b)为 GLONASS 卫星定位残差序列,选取在 测站观测到次数较多的3颗卫星 R04、R20、R10显

示在残差序列图中,从图 2(b)中能清晰看出其非零 均值特性;图 2(c)为GLONASS各卫星间的残差序 列均值. 可以看出 GLONASS 卫星间残差确有显著差 异,卫星残差不符合良好的线性关系,且同频率卫星 的残差不完全接近.因此,有必要对每颗 GLONASS 卫星估计一个通道延迟改正参数,以5号频率 R20 卫星残差均值为基准,测站 R04、R20、R10 卫星的残 差均值分别为 1.85 m、0 m、-1.33 m. 表 2 为频率号与 卫星号的对应关系.

将所有估计得到的通道延迟改正参数加入定位 模型中,得到改正通道延迟的 GLONASS 伪距单点 定位效果如图 3 所示.相比较于图 2,图 3(a)测站 E、 N、U方向的定位误差更稳定,误差明显减小;图 3(b) 可以看出,加入改正正参数后,卫星间残差序列的差 异明显减小;图 3(c) 可以看出,改正后的伪距残差均 值差异缩小了约 50%. 改正后, 测站 R04、R20、R10 卫星的残差均值分别为 1.02 m、0 m、-0.66 m. 表 3 为 改正前后的定位误差结果统计,改正前后 E、N、U 方 向误差均方根 (RMS) 值分别减小了 0.43 m、0.69 m、 0.73 m, 证明为每一颗星单独估计修正参数有效可行.



图 2 未改正通道延迟 GLONSS 定位结果

表 2 卫星与频率对应关系						
频率号	同频卫星1	同频卫星2	SLOT/FRQ			
1	R08	R04	6			
2	R07	R03	5			
3	R21	R17	4			
4	R23	R19	3			
5	R24	R20	2			
6	R05	R01	1			
7	R15	R11	0			
8	R16	R12	-1			
9	R13	R09	-2			
10	R22	R18	-3			
11	R06	R02	-4			
12	R14	R10	-7			



图 3 改正通道延迟 GLONSS 定位结果

表 3	改正诵道延识前后的定位精度统计	
12.5	以正通追连此前加的足位们反见的	

通道延迟	误差	Е	N	U
北正前	RMS	10.42	7.58	11.15
以正則	$\sigma$	5.72	6.53	7.42
北王后	RMS	9.99	6.89	10.42
以止归	$\sigma$	4.94	5.69	6.95

m

由于 GLONASS 卫星的信号的频率不同,这些 信号将以不同的通道通过信号发射和接收装置,这些 不同的通道导致不同卫星信号的不同硬件延迟,对于 同一型号的接收机装置,这种延迟基本不变.使用测



效可行.

#### 图 4 28 天后改正通道延迟定位结果

#### 2.3 GLOANSS/BDS 双系统组合定位

N/m

图 5 给出 SCRZ 测站单独使用 BDS 的 B11、B21 双频消电离层伪距单点定位误差序列. 虽然目前北斗 三号 (BDS-3)已经能为全球实时提供导航服务<sup>[18]</sup>, 但 是由于观测的卫星空间结构不好、数量不足以及高 楼或山坡等遮挡卫星信号的影响, 测站的定位性能将 被削弱<sup>[19]</sup>. 由图 5 可知, 当前测站观测结果用于定位 时, 定位误差离群值大, 稳定性差, 并且伴有不满足 条件定位时段. 在这种条件下, 双系统的组合定位具 有优势.



由式 (5) 可得, 将改正通道延迟的 GLONASS 与

BDS 进行组合伪距单点定位,得到图 6~7. 由图 6 可 知, GLONASS/BDS 双系统定位相对于单系统的观 测卫星数几乎翻倍. E、N、U 方向定位误差离群值明 显减少,并且误差值普遍减小.图7为改正通道延迟 GLONASS/BDS 组合伪距单点定位效果,可以发现 定位误差更加集中. E、N、U方向定位误差 RMS 由 7.84 m、5.79 m、8.17 m 减小至 7.47 m、5.51 m、7.67 m, 分别减小了 0.37 m、0.28 m、0.5 m. E、N、U 方向定位 标准差由 5.04 m、5.51 m、6.82 m 减小至 4.58 m、5.21 m、 6.19 m, 分别减小了 0.46 m、0.30 m、0.63 m. 由此得 到,改正后的组合定效果优于改正前,定位性能得到 提升. 提升幅度不大是因为随着我国 BDS 不断完善, 尤其是 BDS-3 全面开通, BDS广播星历精度优于 GLONASS<sup>[20-21]</sup>. 加入 GLONASS/BDS 组合定位,将 会影响定位精度.改正 GLONASS 通道延迟后, GLONASS 误差得到有效降低. 表 4 为实验结果统计.

站当前通道延迟改正参数和 28 天后的 1 DOY 观测

数据进行实验得到图 4. 可以看出, 加入改正参数后,

定位误差相对更小且更集中,进一步证明改正策略有

#### 表 4 单系统与双系统定位精度统计

m

卫星系统 误差 Е Ν U 8.21 RMS 8.40 6.96 BDS 8.33 6.94 8.20  $\sigma$ RMS 7.84 5.79 8.17 GLONASS/BDS  $\sigma$ 5.04 5.51 6.82 RMS 7.47 5.51 7.67 改正通道延迟GLOANSNS/BDS 4.58 5.21 6.19  $\sigma$ 



图 6 GLONASS/BDS 组合伪距单点定位结果





#### 3 结语

通过实验分析发现,以 SCRZ 测站为例,在全球 范围内 BDS 仍存在观测效果不佳的情况,此时 GLONASS/BDS 双系统组合伪距单点定位具有更好 地定位精度和定位稳定度.为每一颗 GLONASS 卫星 估计一个通道延迟改正参数,将进一步提升 GLONASS/ BDS 组合定位精度和定位稳定度.

**致谢**:感谢苏本磊高级工程师的讨论;感谢领 域内专家提出的宝贵指导意见.

#### 参考文献

- [1] 杜文选,刘扬,耿加伟.多GNSS融合伪距单点定位算法及 其程序实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(9): 47-51.
- [2] 王冲.基于高动态GNSS伪距数据的单点定位精度分析 [C]/第八届中国卫星导航学术年会论,2017.
- [3] GE Y L, ZHOU F, SUN B Q, et al. The impact of satellite time group delay and inter-frequency differential code bias corrections on multi-GNSS combined positioning[J]. Sensors, 2017, 17(3): 602. DOI: 10.3390/s17030602
- [4] ROBACH U. Positioning and navigation using the Russian satellite system GLONASS[M]. Universität der Bundeswehr München, Studiengang Geodäsie und Geoinformationen, 2000.
- SHI C, YI W T, SONG W W, et al. GLONASS pseudorange inter-channel biases and their effects on combined GPS/ GLONASS precise point positioning[J]. GPS solutions, 2013, 17(4): 439-451. DOI: 10.1007/s10291-013-0332-x
- [6] CAI C S, GAO Y. Acombined GPS/GLONASS navigation algorithm for use with limited satellite visibility[J]. Journal of neuroscience, 2009, 62(4): 671-685. DOI: 10.1017/S03734633 09990154

- [7] 魏二虎,刘学习,刘经南.北斗+GPS组合单点定位精度评价 与分析[J]. 测绘通报, 2017(5): 1-5.
- [8] 于龙昊,丁克良,刘亚杰,等.不同环境下BDS/GPS组合动态定位性能分析[J].全球定位系统,2018,43(1):70-74.
- [9] ANGRISANO A, GAGLIONE S, GIOIA C. Performance assessment of GPS/GLONASS single point positioning in an urban environment[J]. Acta geodaetica et geophysica hungarica, 2013, 48(2): 149-161. DOI: 10.1007/s40328-012-0010-4
- [10] 王涛. GPS/GLONASS/BDS多模融合伪距单点定位模型精 度分析[J]. 全球定位系统, 2017, 42(3): 32-37.
- [11] 李鹤峰, 党亚民, 秘金钟, 等. BDS与GPS、GLONASS多模 融合导航定位时空统一[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(4): 73-78.
- [12] 石明旺. GPS/GLONASS/BDS组合导航定位主要算法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [13] 刘姣,陈俊平,王彬.估计卫星频间偏差的GLONASS伪距 定位改进模型及其验证[J].大地测量与地球动力学,2021, 41(1):27-33.
- [14] 布金伟, 左小清, 金立新, 等. BeiDou+GLONASS+Galileo多
   系统组合SPP稳定性和精度分析[J]. 测绘通报, 2018(9): 13-18,23.
- [15] RINEX-The receiver independent exchange format Version3.02. IGS[S]. RINEX Working Group and Radio Technical

Commission for MARitime Services Special Committee 104(RTCM-SC104), 2013.

- [16] 北斗卫星导航定位系统空间信号接口控制文件公开服务 信号(2.0版)[S]. 中国卫星导航系统管理办公室, 2013.
- [17] International GNSS Service[DS/OL]. [2021-06-12]. ftp: //igs. ensg. ign. fr/pub/igs/products/
- SHI J B, OUYANG C H, HUANG Y S, et al. Assessment of BDS-3 global positioning service: ephemeris, SPP, PPP, RTK, and new signal[J]. GPS solutions, 2020, 24(3): 1-4. DOI: 10.1007/s10291-020-00995-y
- [19] 杨毅, 胡洪, 解雪峰, 等. BDS-3/GPS在遮挡环境下定位性能 分析[J]. 全球定位系统, 2021, 46(3): 104-110.
- [20] 王朝辉, 马下平, 严丽, 等. 北斗三号全球卫星导航系统的 广播星历精度评估[J]. 测绘通报, 2021(1): 59-65,98.
- [21] 郭际明, 孟祥广, 李宗华, 等. GLONASS卫星广播星历精度 分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(1): 68-71.

#### 作者简介

**罗元** (1998—) 男,硕士,主要研究方向为卫星数 据处理.

苏本磊 (1982—) 男,硕士研究生导师,高级工程师,主要研究方向为卫星导航,信号处理方向.

# Calibrate inter-channel bias in GLONASS/BDS combined pseudorange positioning

LUO Yuan, SU Benlei

(Southwest Minzu University, College of Electronic and Information, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Because of the frequency difference between GLONASS satellites, the hardware bias of the station cannot be absorbed by the receiver clock bias parameter. We presents a method to estimate a interchannal bias for each satellites to improve the accuracy of combined GLONASS/BDS pseudorange standard point positioning. The solutions show that adding pseudorange ICB calibration can effectively reduce GLONASS positioning error, and the root mean square (RMS) value of east(E), north(N), and up (U) components error after calibration is reduced by 0.43 m, 0.69 m, 0.73 m, respectively, and the calibration effect is long-term effective. When the BeiDou Navigation Satellite System (BDS) observation conditions of the station is limited, the combined GLONASS/BDS pseudorange standard point positioning is effective in improve accuracy positioning. After calibrating inter-channal bias, dual-system positioning accuracy is further improved. And the RMS values of E, N, U components error are reduced by 0.37 m, 0.28 m, and 0.5 m, respectively.

**Keywords:** inter-channal bias; residual analysis; combined positioning; pseudorange standard point; positioning; space-time unification