引文格式：许明佳,董坤烽,郭天伟. DCB对伪距单点定位/精密单点定位的影响分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 89-91. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.022

DCB对伪距单点定位/精密单点定位的影响分析

许明佳[1]，董坤烽[2*]，郭天伟[3,4]
（1. 西南有色昆明勘测设计（院）股份有限公司，云南 昆明 650000；
2. 云南建投第一勘察设计有限公司，云南 昆明 650000；
3. 滇西应用技术大学 地球科学与工程学院，云南 大理 671006；
4. 云南省高校山地实景点云数据处理及应用重点实验室，云南 大理 671006）

摘　要：针对差分码偏差（DCB）是影响定位精度的重要因素之一，对DCB的建模与分析具有重要的意义。因此，推导了DCB在双频模式下伪距单点定位（SPP）、精密单点定位（PPP）改正模型，并借助MGEX跟踪站连续3d观测数据进行SPP、PPP实验，实验结果表明：DCB改正前后，各测站SPP结果显示均为U方向精度最差，N方向、E方向精度基本相当，B_1B_2组合SPP的精度优于B_1B_3组合精度，DCB在N、E、U方向精度改善在米级，DCB对PPP的影响为厘米级，在N、E、U方向上的平均改善量分别为16.22%、17.77%、12.68%，B_1B_3组合经DCB改正后，其解算精度与B_1B_2仍有1~3 cm的差距。

关键词：差分码偏差；伪距单点定位；精密单点定位；MGEX跟踪站
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0089-03

Influence Analysis of DCB on Pseudo Range Standard Point Positioning/Precise Point Positioning

XU Mingjia[1], DONG Kunfeng[2], GUO Tianwei[3,4]
(1. Southwest Nonferrous Kunming Exploration Surveying and Design (Institute) Inc., Kunming 650000, China;
2. YCIH No.1 Survey and Design Co., Ltd., Kunming 650000, China;
3. School of Earth Sciences and Engineering, West Yunnan University of Applied Sciences, Dali 671006, China;
4. Key Laboratory of Mountain Real Scene Point Cloud Data Processing and Application for Universities in Yunnan Province, Dali 671006, China)

Abstract: As differential code bias (DCB) is one of the important factors affecting the positioning accuracy, the modeling and analysis of DCB is of great significance. We derived the correction models of pseudo range standard point positioning (SPP) and precise point positioning (PPP) for DCB in dual frequency mode, and conducted SPP and PPP experiments with the help of continuous 3-day observation data of MGEX tracking station. The experimental results show that before and after DCB correction, the SPP results of each station show the worst accuracy in U direction. The accuracy of N direction and E direction is basically equivalent. The accuracy of the B_1B_2 combined SPP is better than that of the B_1B_3 combined SPP. The accuracy of DCB in the N, E and U directions is improved at meter level. The impact of DCB on the PPP is centimeter level. The average improvement in the N, E and U directions is 16.22%, 17.77% and 12.68% respectively. After correction by DCB, the solution accuracy of the B_1B_3 combined SPP still has a gap of 1~3 cm with that of the B_1B_2 combined SPP.

Key words: DCB, SPP, PPP, MGEX tracking station

BDS在提供导航定位的过程中，由于仪器设备的不一致性，导致伪距观测值存在偏差，且不同频率的码伪距观测值之间的偏差不相同，我们称这种偏差为差分码偏差（DCB）[1-2]。

不同频点的硬件延迟偏差是对定位影响的重要因素，为了给BDS全球用户提供高精度的导航、定位、授时服务，解决BDS码偏差对定位的影响一直是国内外学者研究热点之一[3]。文献[4]对DCB对精密单点定位（precise point positioning，PPP）参数收敛时间影响进行了分析，引入DCB参数收敛时间，文献[5]对不同机构DCB产品稳定性及PPP授时精度进行了研究，结果表明：不同机构发布DCB产品精度基本相当，DCB产品对PPP授时中的系统性偏差有明显的修正效果；文献[6]对BDS卫星端DCB对定位的影响进行了评估，验证了在B_1B_2、B_1B_3双频定位模式下，DCB对静态和动态定位精度均有显著提高；文献[7]分析了不同太阳活动

收稿日期：2022-10-30。
项目来源：云南省教育厅科学研究基金资助项目（2022J1047）。
第一作者简介：许明佳（1984—），硕士，高级工程师，主要从事测绘工程、地理信息相关工作，E-mail：389696947@qq.com。
通信作者：董坤烽（1982—），硕士，高级工程师，主要从事大地测量与工程测量工作，E-mail：150512068@qq.com。

水平下BDS卫星DCB产品的稳定性，并实现了对DCB的短期预报；文献[8]基于BDS观测数据解算了卫星DCB，并与MGEX发布的DCB产品文件进行对比分析，实验结果表明：BDS卫星DCB的稳定性优于0.4 ns，且北斗倾斜地球同步轨道卫星的稳定性最高。本文在既有文献的研究基础上，推导了双频B_1B_2、B_1B_3、B_2B_3伪距单点定位（standard point positioning，SPP）和PPP的DCB改正数学模型，借助MGEX（Multi-GNSS Experiment，MGEX）观测数据，验证了DCB产品文件对SPP和PPP的影响。

1 DCB改正数学模型

BDS广播星历中以B_3频点的B_3码作为基准硬件延迟偏差，设τ_i为B_i码的星上链路发射延迟，ICD文件中定义的2个广播星历发的时间群延迟（time group delay，TGD）参数为：

$$\begin{cases} d_{\mathrm{TGD1}}=\tau_1-\tau_3 \\ d_{\mathrm{TGD2}}=\tau_2-\tau_3 \end{cases} \tag{1}$$

若假设B_i为码伪距，则B_1B_2单频用户归算到B_3时空参考点的码改正公式为：

$$\begin{cases} B_{1-\mathrm{corr}}=B_1-\mathrm{cd}_{\mathrm{TGD1}} \\ B_{2-\mathrm{corr}}=B_2-\mathrm{cd}_{\mathrm{TGD2}} \end{cases} \tag{2}$$

通过分析B_1B_3双频用户的延迟改正，令$\alpha=f_1^2/f_2^2$，$\beta=f_1^2/f_3^2$，$\gamma=f_2^2/f_3^2$，则：

$$\frac{B_3-\beta B_1}{1-\beta}-B_3=\frac{-\beta}{1-\beta}(B_1-B_3)+\frac{I}{f_3^2} \tag{3}$$

在式（3）$\frac{I}{f_3^2}$码组合项中，这是B_3频点下单频定位的电离层延迟项，改正时应不加上这项改正，因此改正公式为：

$$B_{1,3-\mathrm{corr}}=\frac{B_3-\beta B_1}{1-\beta}-\frac{-\beta}{1-\beta}\mathrm{DCB}_{B_1-B_3} \tag{4}$$

式中，$\mathrm{DCB}_{B_1-B_3}$为B_1和B_3之间的码延迟，可由MGEX提供的bsx文件获取。

同理得到B_2 B_3，B_1 B_2的双频组合SPP下码的DCB改正公式，即

$$\begin{cases} B_{1-\mathrm{corr}}=B_1-\mathrm{DCB}_{B_1-B_3} \\ B_{2-\mathrm{corr}}=B_1-\mathrm{DCB}_{B_2-B_3} \\ B_{3-\mathrm{corr}}=B_3 \\ B_{1,\ 3-\mathrm{corr}}=\dfrac{B_3-\beta B_1}{1-\beta}-\dfrac{-\beta}{1-\beta}\mathrm{DCB}_{B_1-B_3} \\ B_{2,\ 3-\mathrm{corr}}=\dfrac{B_3-\gamma B_2}{1-\gamma}-\dfrac{-\gamma}{1-\gamma}\mathrm{DCB}_{B_2-B_3} \\ B_{1,\ 2-\mathrm{corr}}=\dfrac{B_2-\alpha B_2}{1-\alpha}-\left(\dfrac{\alpha}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_2-B_3}-\dfrac{\alpha}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_1-B_3}\right) \end{cases} \tag{5}$$

式（5）中，B_i为码伪距观测量。在BDS精密星历中，钟差解算基于B_1 B_2消电离层组合定义的时空参考点，选取B_1 B_3码作为观测量，组合码相减，即：

$$B_{1,3-\mathrm{corr}}=\frac{B_3-\beta B_1}{1-\beta}-\left(\frac{1}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_1-B_2}-\frac{1}{1-\beta}\mathrm{DCB}_{B_1-B_3}\right) \tag{6}$$

同理得到其他频点码PPP下码的DCB改正公式，即

$$\begin{cases} B_{1-\mathrm{corr}}=B_1-\dfrac{1}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_1-B_2} \\ B_{2-\mathrm{corr}}=B_1-\dfrac{\alpha}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_2-B_3} \\ B_{3-\mathrm{corr}}=B_3-\left(\dfrac{\alpha}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_1-B_3}-\dfrac{1}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_2-B_3}\right) \\ B_{1,3-\mathrm{corr}}=\dfrac{B_3-\beta B_1}{1-\beta}-\left(\dfrac{1}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_1-B_2}-\dfrac{1}{1-\beta}\mathrm{DCB}_{B_1-B_3}\right) \\ B_{2,3-\mathrm{corr}}=\dfrac{B_3-\gamma B_2}{1-\gamma}-\left(\dfrac{\alpha}{1-\alpha}\mathrm{DCB}_{B_1-B_2}-\dfrac{1}{1-\gamma}\mathrm{DCB}_{B_2-B_3}\right) \\ B_{1,\ 2-\mathrm{corr}}=\dfrac{B_2-\alpha B_1}{1-\alpha} \end{cases} \tag{7}$$

2 数据来源及处理策略

为了评估DCB对SPP和PPP模型定位精度的影响，本文选择MGEX跟踪站中的BJF1、SHA1、WUH2、JFNG连续3 d的观测数据进行SPP和PPP实验，DCB文件均为MGEX公布的DCB产品文件，处理策略如表1所示。

表1 处理策略

参数	处理策略
采样频率	30 s
截止高度角	15°
对流层延迟	Saastamoinen模型
对流层映射函数	GMF映射函数
星历	SP3产品
估计方法	卡尔曼滤波
天线相位改正	IGS14产品
固体潮模型	IERS2003

3 案例分析

3.1 SPP结果分析

分别利用B_1和B_2、B_1和B_3双频消电离层组合进行伪距单点定位实验，对比DCB改正前后测站坐标在N、E、U方向上的差值，某定位精度提升改正量如图1、2所示。

图1和图2可知，DCB改正前后，各测站SPP结果显示均为U方向精度最差，N方向、E方向精度基本相当，B_1B_2组合SPP的精度优于B_1B_3组合精度，分

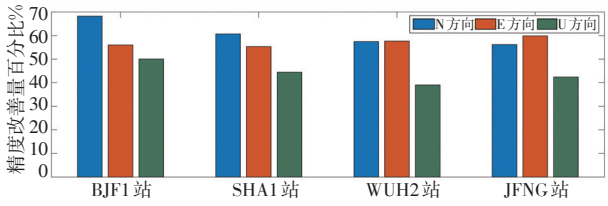


图1　DCB对B_1B_2组合定位精度改善量

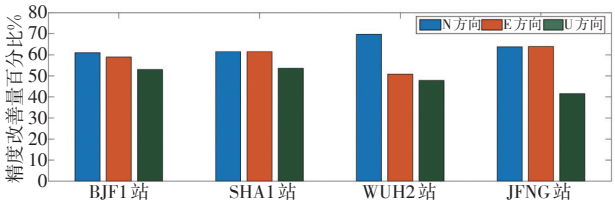


图2　DCB对B_1B_3组合定位精度改善量

析其原因可能是由于B_1B_3组合噪声系数较大导致的，这一结果与文献[9]研究结果相吻合。DCB改正后，各测站各方向SPP结果均有明显提升效果，总体定位精度在4 m内。DCB改正对B_1B_2组合最佳改善量是在BJF1站N方向，最佳改善量为68.21%，B_1B_2组合平均改善量为53.95%；DCB改正对B_1B_3组合最佳改善量是在WUH2站N方向，最佳改善量为69.78%，B_1B_3组合平均改善量为57.27%；总体上在N、E、U方向精度改善在米级，B_1B_2组合的改善精度要优于B_1B_3组合改善精度，分析其原因可能是由于B_1B_2组合的噪声放大系数小于B_1B_3组合噪声放大系数导致的。

3.2　PPP结果分析

分别利用B_1和B_2、B_1和B_3双频消电离层组合进行精密单点定位实验，对比DCB改正前后测站坐标在N、E、U方向上的差值，将RMS值统计结果如表2所示。B_2B_3组合无法输出解算结果，在此未给出，其主要原因是B_2B_3组合噪声放大因子为14.3，而B_1B_2、B_1B_3组合噪声放大因子仅为2~3，这一结果与参考文献[11]研究结果相吻合。

表2　PPP实验RMS值统计表 / m

类别	BJF1			SHA1			WUH2			JFNG		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
B_1B_2	0.025	0.038	0.060	0.043	0.050	0.066	0.028	0.033	0.059	0.035	0.031	0.085
B_1B_3	0.080	0.052	0.081	0.081	0.078	0.092	0.045	0.048	0.077	0.051	0.047	0.101
B_1B_{3-corr}	0.063	0.045	0.065	0.075	0.061	0.084	0.034	0.040	0.069	0.045	0.038	0.089

对PPP而言，各测站在DCB改正前后均为U方向精度最差，这与SPP结果相吻合；B_1B_2组合PPP的精度要优于B_1B_3组合PPP精度，分析其原因可能是由于B_1B_2组合的噪声放大系数小于B_1B_3组合噪声放大系数导致的；DCB对PPP的影响为厘米级，在N、E、U方向上的平均改善量分别为16.22%、17.77%、12.68%。考虑到不同消电离层组合噪声放大系数不同，B_1B_3组合经DCB改正后，其解算精度与B_1B_2仍有1~3 cm的差距。

4　结　语

为了探究DCB对伪距单点定位、精密单点定位的影响进行定量分析，本文借助MGEX跟踪站中的BJF1、SHA1、WUH2、JFNG连续3 d的观测数据进行伪距单点定位、精密单点定位实验，实验结果表明：各测站在DCB改正前后，SPP、PPP均显示为U方向精度最差，N方向、E方向精度基本相当的结果；DCB改正后，各测站各方向SPP结果均有明显提升效果，总体定位精度在4 m内；DCB改正对B_1B_2组合最佳改善量是在BJF1站N方向，对B_1B_2组合平均改善量为53.95%；DCB改正对B_1B_3组合最佳改善量是在WUH2站N方向，最佳改善量为69.78%，B_1B_3组合平均改善量为57.27%；DCB对PPP的影响为厘米级，在N、E、U方向上的平均改善量分别为16.22%、17.77%、12.68%。

参考文献

[1] 邵先锋，刘流，贾雪. 多GNSS系统组合PPP定位精度评估[J]. 地理空间信息，2021，19(4):44-50

[2] 王胜骞，韩琦，王星，等. 北半球高纬地区北斗三号定位性能分析[J]. 地理空间信息，2022，20(3):92-96

[3] 刘冰雨，王中元，胡超，等. BDS卫星短时差分码偏差估计与分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版)，2022，45(7):959-966

[4] 王志平. 差分码偏差对PPP参数收敛时间的影响[J]. 信息化建设，2016，15(5):58-59

[5] 韩金阳，张杰，钟世明，等. 差分码偏差对PPP授时精度影响的研究[J]. 导航定位与授时，2021，8(6):131-137

[6] 曾添，隋立芬，鲍亚东，等. BDS卫星端差分码偏差对定位的影响及改正模型研究[J]. 大地测量与地球动力学，2017，37(1):53-57

[7] 梅登奎，闻德保. BDS卫星差分码偏差稳定性分析及其短期预报[J]. 大地测量与地球动力学，2020，40(7):746-750

[8] 张强，赵齐乐，章红平，等. 利用北斗观测实验网解算北斗卫星差分码偏差[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2016，41(12):1 649-1 655

[9] 谷世铭，党亚民，王虎，等. 北斗差分码偏差改正对单点定位的影响[J]. 测绘科学，2020，45(10):10-15