引文格式：夏鹏. BDS-3多频RTK在不同高度角下定位性能分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(3): 122-126. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623. 2023.03.027

BDS-3 多频RTK在不同高度角下定位性能分析

夏　鹏[1]
（1. 江苏省地质测绘院，江苏 南京 211102）

摘　要：设计了7种不同高度角BDS-3短基线RTK解算实验，参与解算频率包括单频（B1C、B2a、B1I、B3I）、双频组合（B1C/B2a、B1C/B3I、B1I/B2a、B1I/B3I）以及三频组合（B1C/B2a/B3I、B1I/B2a/B3I）。实验结果表明，BDS-3卫星可见数随高度角的增加而降低，PDOP值随高度角的增加而增加；在单频RTK性能方面，B1I和B3I定位性能稳定，受高度角影响较小，但在低高度角（10°~20°）的情况下，B1C和B2a定位性能更优；在双频RTK性能方面，B1I/B3I组合短基线RTK定位性能稳定，即使在极端高度角（40°）时，水平定位精度优于2 cm，高程定位精度优于4 cm；在三频RTK性能方面，B1I/B2a/B3I组合短基线RTK定位性能稳定，即使在极端高度角（40°）时，水平定位精度优于2 cm，高程定位精度优于4 cm。

关键词：BDS-3；多频；RTK；不同高度角
中图分类号：P228.1　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）03-0122-05

Positioning Performance Analysis of BDS-3 Multi-frequency RTK at Different Altitude Angles

XIA Peng[1]
(1. Jiangsu Institute of Geological Surveying and Mapping, Nanjing 211102, China)

Abstract: In this study, we designed seven short baseline RTK solution experiments of BDS-3 with different altitude angles. The solution frequencies are single frequency(B1C, B2a, B1I, B3I), dual-frequency combination(B1C/B2a, B1C/B3I, B1I/B2a, B1I/B3I) and tri-frequency combination(B1C/B2a/B3I, B1I/B2a/B3I). The experimental results show that the availability of BDS-3 satellite decreases with the increase of altitude angle, and the PDOP value increases with the increase of altitude angle. In terms of single frequency RTK performance, B1I and B3I have stable positioning performance, and are less affected by altitude angle, but B1C and B2a have better positioning performance at low altitude angles. In terms of dual-frequency RTK performance, B1I/B3I short baseline RTK positioning performance is stable. When the extreme altitude angle is 40°, the horizontal positioning accuracy is better than 2 cm and the elevation positioning accuracy is better than 4 cm. In terms of tri-frequency RTK performance, B1I/B2a/B3I short baseline RTK positioning performance is stable. When the extreme altitude angle is 40°, the horizontal positioning accuracy is better than 2 cm and the elevation positioning accuracy is better than 4 cm.

Key words: BDS-3, multi-frequency, RTK, different height angle

BDS-3正式开通全球服务不仅为全球导航与定位带来了新机遇，也标志着我国迈入导航与定位大国之列，B1C、B2a、B1I、B3I四频信号的播发更是带来了新的机遇与挑战[1-3]。实时动态差分（RTK）是当前精密定位技术之一，应用广泛，在观测环境较好的条件下可达厘米级定位精度，而在观测环境较差时，定位精度较低[4-6]。在RTK数据处理过程中，高度角的设置对其定位精度具有重要影响。高度角较低或较高均会因为观测数据质量较差或卫星数较少而导致定位精度较低，因此进行数据处理时选择合适的高度角至关重要[7-10]。朱玉香[11]等研究发现，高度角为20°时，BDS-3伪距单点定位精度最高，高度角为40°时定位精度最低，B1I和B3I的历元利用率优于B1C和B2a，且4个频率定位性能均优于GPS系统L1频率；徐爱功[12]等研究发现，GPS/BDS/GLONASS/Galileo组合即使高度角达到40°，RTK仍能快速获得固定解，且平面精度优于1 cm，高程精度优于4 cm；李金华[13]等研究发现，GPS伪距单点定位在极端高度角下点位离散程度较差，但四系统组合定位稳定性和可靠性较好，明显优于单系统、双系统和三系统；余晓娜[14]等研究发现，GPS/BDS/Galileo组合在相同高度角情况下卫星数、历元率最优，伪距单点定位精度分别比单系统和双系统组合提升了20%~40%，在较差观测环境中具有较好的应用价值；贾雪[15]、李博[16]等研究发现，在极端

收稿日期：2022-01-04；修回日期：2022-02-08。
项目来源：江苏省测绘地理信息科研资助项目（JSCHKY201602）。
作者简介：夏鹏（1982—），高级工程师，注册测绘师，主要从事测绘生产管理与测绘数据处理方面的工作，E-mail：2698791983@qq.com。

高度角情况下单系统不能进行连续稳定定位，而BDS/GPS组合单点定位精度可达米级。综合上述研究发现，当前学者对不同高度角设置影响GNSS定位性能的研究主要集中在伪距定位方面，对RTK方面的研究有所欠缺，因此本文基于一组短基线数据，分析了BDS-3单频、双频和三频RTK在不同高度角下的定位性能。

1　数学模型

BDS-3 RTK定位基本观测量为伪距与载波相位观测值，本文选用的RTK定位模型为非差非组合模型。基本非差非组合伪距与载波相位观测方程为[12,17-18]：

$$\begin{cases} P_i^s = \rho_i^s + dt_i - c \times dt^s - V_{ion} + V_{trop} + b_i - b^s + \varepsilon_i^s \\ \Phi_i^s = \rho_i^s + dt_i - c \times dt^s + \lambda(\delta_i - \delta^s + N_i^s) + V_{ion} + V_{trop} + e_i^s \end{cases} \tag{1}$$

式中，i为接收机；s为卫星；P_i^s为伪距观测值；Φ_i^s为载波相位观测值；ρ_i^s为卫星与接收机之间的几何距离；dt_i为接收机钟差；c为真空光速；dt^s为卫星钟差；V_{ion}为电离层延迟误差；V_{trop}为对流层延迟误差；λ为卫星观测波长；δ_i为接收机端相位硬件延迟；δ^s为卫星端相位硬件延迟；N_i^s为整周模糊度；b_i为接收机端伪距硬件延迟；b^s为卫星端伪距硬件延迟；ε_i^s为伪距观测噪声；e_i^s为载波相位观测噪声。

在短基线相对定位中，双差模型是常用的定位模型，可有效消除卫星与接收机钟差、硬件延迟等，且能削弱电离层以及对流层延迟，非差非组合双差定位模型表示如下[12,17-18]：

$$\begin{cases} \Delta\nabla P_{ij}^{ks} = \Delta\nabla\rho_{ij}^{ks} + \Delta\nabla\varepsilon_{ij}^{ks} \\ \Delta\nabla\Phi_{ij}^{ks} = \Delta\nabla\rho_{ij}^{ks} + \lambda \times \Delta\nabla N_{ij}^{ks} + \Delta\nabla e_{ij}^{ks} \end{cases} \tag{2}$$

式中，$\Delta\nabla$为双差算子；j为接收机；k为卫星；$\Delta\nabla P_{ij}^{ks}$为双差伪距观测值；$\Delta\nabla\Phi_{ij}^{ks}$为双差载波相位观测值；$\Delta\nabla\rho_{ij}^{ks}$为双差接收机至卫星间的几何距离；$\Delta\nabla\varepsilon_{ij}^{ks}$为双差伪距观测噪声；$\Delta\nabla N_{ij}^{ks}$为双差整周模糊度；$\Delta\nabla e_{ij}^{ks}$为双差载波相位观测噪声。

2　实验与结果分析

本文选用我国两个能接收到BDS-3多频信号的MGEX跟踪站数据，组成的基线长度为12.93 km，观测时间段为2021-01-06—2021-01-08，采样间隔为30 s。解算实验共设计了10°、15°、20°、25°、30°、35°、40°七种高度角，BDS-3解算频率包括单频、双频和三频3种，单频为B1C、B2a、B1I和B3I，双频为B1C/B2a、B1C/B3I、B1I/B2a和B1I/B3I，三频为B1C/B2a/B3I和B1I/B2a/B3I。数据处理采用的Net_Diff软件，由上海天文台GNSS分析中心研发。数据处理模型为非差非组合模型，对流层延迟改正模型采用GPT2_5w+SAAS+VMF1模型，电离层延迟作为未知参数在解算过程中进行估计，周跳探测通过GF+MW组合进行探测，参考坐标为IGS中心提供的周解算坐标。

2.1　卫星可见数与PDOP值

BDS-3平均卫星可见数与PDOP值随高度角的变化情况如图1所示，由于不同历元不同频率卫星可见数不同，因此本文给出了BDS-3单频、双频和三频在不同高度角情况下卫星可见数、PDOP值3 d的平均值，可以看出，BDS-3平均卫星可见数随高度角的增加而呈阶梯式递减，平均PDOP值随高度角的增加呈一定趋势递增；在低高度角的情况下，BDS-3平均卫星可见数为8颗，在40°极端高度角的情况下，BDS-3平均卫星可见数为5颗，满足定位要求；高度角为10°~25°时，BDS-3平均PDOP值在3以内，在40°极端高度角的情况下，BDS-3平均PDOP值大于6。

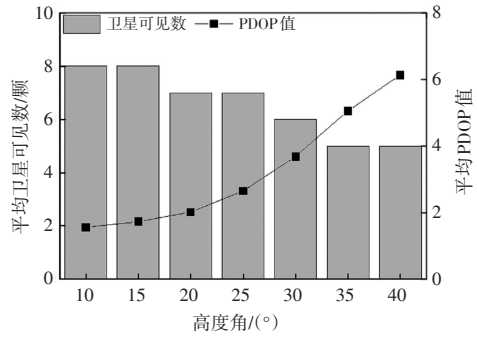


图1　平均卫星可见数和PDOP值随高度角的变化情况

2.2　不同高度角下单频RTK定位性能分析

根据BDS-3单频、双频和三频RTK解算策略，解算得到不同高度角情况下BDS-3 RTK历元解算率、模糊度固定率以及不同方向的定位精度如图2~4所示。

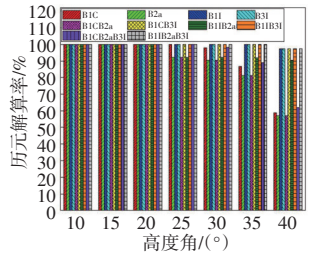


图2　不同高度角下RTK历元解算率

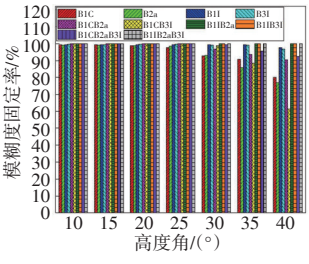


图3　不同高度角下RTK模糊度固定率

由图2可知，B1C、B2a单频短基线RTK历元解算率随高度角的增加降低较明显，当高度角为10°~20°时，历元解算率为100%，在极端高度角（40°）情况下，历元解算率不足60%；B1I、B3I单频短基线RTK

历元解算率随高度角的增加降低不明显，当高度角为10°~35°时，历元解算率均在99%以上，即使高度角达到40°，历元解算率也在97%以上；B1C/B2a组合短基线RTK历元解算率随高度角的增加降低较明显，当高度角为10°~20°时，历元解算率为100%，当高度角达到40°时，历元解算率低于60%；B1C/B3I和B1I/B3I组合短基线RTK历元解算率随高度角的增加变化微小，当高度角为10°~35°时，历元解算率接近100%，当高度角达到40°时，历元解算率也在97%以上；B1I/B2a组合短基线RTK历元解算率随高度角的增加变化较明显，当高度角为10°~20°时，历元解算率为100%，当高度角为25°~40°时，历元解算率约为91%；B1C/B2a/B3I组合短基线RTK历元解算率随高度角的增加降低较明显，当高度角为10°~30°时，历元解算率接近100%，当高度角达到40°时，历元解算率低于60%；B1I/B2a/B3I组合短基线RTK历元解算率随高度角的增加变化微小，当高度角为10°~35°时，历元解算率接近100%，当高度角达到40°时，历元解算率也在97%以上。

由图3可知，B1C、B2a单频短基线RTK历元模糊度固定率随高度角的增加降低较明显，当高度角为10°~20°时，模糊度固定率在99%以上，在极端高度角（40°）情况下，模糊度固定率只有80%左右；B1I、B3I单频短基线RTK模糊度固定率随高度角的增加降低不明显，当高度角为10°~35°时，模糊度固定率均在99%以上，即使高度角达到40°，模糊度固定率也在97%左右；B1I/B2a和B1I/B3I组合短基线RTK模糊度固定率随高度角的增加几乎无变化，模糊度固定率均接近100%；B1C/B2a组合短基线RTK模糊度固定率随高度角的增加变化微小，在低高度角10°和15°，模糊度固定率接近100%，其余情况模糊度固定率均在90%以上；B1C/B3I组合短基线RTK模糊度固定率随高度角的增加降低较明显，当高度角为10°~20°时，模糊度固定率为100%，当高度角达到40°，模糊度固定率低于60%；B1I/B2a/B3I组合短基线RTK模糊度固定率随高度角的增加几乎无变化，模糊度固定率均接近100%；B1C/B2a/B3I组合短基线RTK模糊度固定率随高度角的增加变化微小，当高度角为10°~15°时，模糊度固定率接近100%，其余情况模糊度固定率均在90%以上。

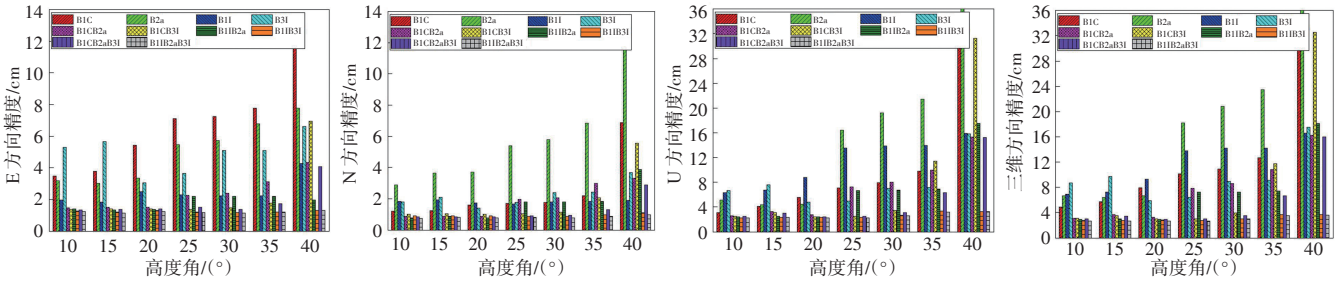


图4 不同高度角下RTK定位精度

由图4可知，B1C、B2a单频短基线RTK定位精度随高度角的增加变化明显，而B1I、B3I单频短基线RTK定位精度随高度角的增加变化不明显。在低高度角10°和15°，B1C、B2a、B1I单频短基线RTK定位精度最优，B1C单频E方向精度优于4 cm，N方向精度优于2 cm，U方向精度优于4 cm，三维方向精度优于5 cm；B2a单频E、N方向精度优于4 cm，U方向精度优于5 cm，三维方向精度优于7 cm；B1I单频E、N方向精度优于2 cm，U、三维方向精度优于7 cm；B3I单频E方向精度优于6 cm，N方向精度优于2 cm，U方向精度优于7 cm，三维方向精度优于9 cm。B3I单频RTK在高度角为20°时精度最高，E方向精度优于4 cm，N方向精度优于2 cm，U方向精度优于5 cm，三维方向精度优于6 cm。在极端高度角（40°）情况下，4个单频RTK水平定位精度接近分米，而高程和三维方向定位精度为分米级。受高度角的影响，BDS-3四种单频短基线RTK定位精度呈现不同的变化，且不同高度角范围下B1C、B2a和B1I、B3I定位精度优越性出现转变，这可能是受GEO卫星的影响，由于本文采用的GEO卫星不播发B1C和B2a频率信号，当高度角增加时，GNSS接收机接收不到B1C和B2a频率信号，但可接收到B1I和B3I频率信号。

B1C/B2a、B1C/B3I、B1I/B2a双频短基线RTK定位精度随高度角的增加降低较明显，当高度角为10°~20°时，E方向精度优于2 cm，N方向精度优于1 cm，U、三维方向精度优于4 cm，当高度角达到40°时，水平定位精度在厘米级，高程和三维方向精度达到分米级；B1I/B3I双频短基线RTK定位精度随高度角的增加变化微小，当高度角为10°~40°时，E方向精度优于2 cm，N方向除高度角为40°时定位精度为1.09 cm外，其余情况定位

精度均优于1 cm，U、三维方向精度优于4 cm。

B1C/B2a/B3I组合短基线RTK定位精度在高度角为10°~30°时变化微小，E方向精度优于2 cm，N方向精度优于1 cm，U、三维方向精度优于4 cm；当高度角达到35°时，水平方向精度优于2 cm，高程和三维方向精度优于8 cm；当高度角达到40°时，水平方向定位精度为厘米级，高程和三维方向定位精度为分米级。B1I/B2a/B3I组合短基线RTK定位精度随高度角的增加变化微小，当高度角为10°~40°时，E方向精度优于2 cm，N方向精度优于1 cm，U、三维方向精度优于4 cm。

2.3　三频相比单频与双频定位精度提升分析

为体现BDS-3三频组合相较于单频、双频组合相对定位的优越性，当高度角为10°和40°时，两种三频组合比单频、双频组合短基线相对定位精度的提升量如表1、2所示，可以看出，B1C/B2a/B3I和B1I/B2a/B3I三频组合短基线RTK定位精度相较于单频、双频组合均有较明显提升，且B1I/B2a/B3I相比B2a、B3I单频相对定位精度的提升量优于B1C/B2a/B3I组合；当高度角为10°时，两种三频组合比单频短基线相对定位精度的提升量在20%~80%之间，比双频组合定位精度提升量除N方向较大外，其余方向提升量均在10%以内；在高度角为40°时，除B1I/B2a/B3I比B3I单频相对定位精度提升量较小外，两种三频组合比其余单频相对定位精度提升量在40%~95%之间，比双频组合定位精度提升量差别较大，B1C/B2a/B3I比B1C/B2a的提升量较小，比B1C/B3I的提升量在40%~55%之间，比B1I/B3I的提升量较小，比B1I/B2a的提升量在30%~55%之间。

表1　B1C/B2a/B3I组合在高度角为10°和40°时相比单频、双频定位的精度提升

频率	高度角为10°				高度角为40°			
	E	N	U	三维	E	N	U	三维
B1C	61.32	30.00	20.75	38.51	66.99	57.91	52.89	52.96
B2a	57.68	70.83	50.88	55.48	47.69	74.83	66.21	66.02
B3I	74.53	52.81	61.99	65.64	38.52	21.41	3.67	8.58
B1C/B2a	8.78	2.33	1.95	3.50	6.44	12.39	0.39	1.29
B1C/B3I	1.46	16.00	1.18	2.71	41.52	47.94	51.28	50.69

表2　B1I/B2a/B3I组合在高度角为10°和40°时相比单频、双频定位精度提升

频率	高度角为10°				高度角为40°			
	E	N	U	三维	E	N	U	三维
B2a	61.13	74.31	56.34	60.18	83.29	91.49	92.83	92.33
B1I	36.41	59.56	64.72	61.32	69.56	48.15	79.66	78.15
B3I	76.60	58.43	66.21	69.27	80.36	73.44	79.57	79.37
B1I/B2a	12.68	2.63	7.82	8.58	34.34	74.74	81.61	80.01
B1I/B3I	1.59	19.57	0.44	2.66	0.76	10.09	0.92	1.67

3　结　语

针对BDS-3多频RTK定位性能，本文分析了不同高度角下BDS-3单频、双频和三频定位性能，得到的主要结论为：

1）BDS-3卫星可见数随高度角的增加而呈阶梯状降低，PDOP值随高度角的增加呈递增趋势，在低高度角（10°~20°）情况下卫星可见数与PDOP值较优，在极端高度角（40°）情况下二者较差。

2）B1I和B3I单频短基线RTK历元解算率、模糊度固定率和定位精度受高度角影响较小，定位性能稳定；B1C和B2a单频短基线RTK历元解算率、模糊度固定率和定位精度受高度角影响较大，极端高度角（40°）情况下定位性能过差，但在低高度角（10°~20°）情况下，定位精度优于B1I和B3I。

3）BDS-3双频短基线RTK定位性能优于单频，B1C/B2a、B1C/B3I和B1I/B2a双频短基线RTK整体定位性能受高度角影响较大，在极端高度角情况下定位精度过低；B1I/B3I双频短基线RTK历元解算率、模糊度固定率和定位精度受高度角影响较小，定位性能稳定，即使在极端高度角情况下，水平和高程方向定位精度仍在厘米级。

4）BDS-3三频短基线RTK定位性能优于双频组合，B1C/B2a/B3I三频短基线RTK在极端高度角情况下，历元解算率、模糊度固定率和定位精度过低；B1I/B2a/B3I三频短基线RTK历元解算率、模糊度固定率和定位精度受高度角影响较小，定位性能稳定，即使在极端高度角情况下，水平和高程方向定位精度仍在厘米级。

参考文献

[1] 刘明亮，安家春，王泽民，等. BDS-3多频伪距定位性能分析[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版)(2021-08-13)[2021-12-23]. https://kns.cnki.net/kns8/Detail?sfield=fn&QueryID=0&CurRec=1&recid=&FileName=WHCH20210812000&DbName=CAPJLAST&DbCode=CAPJ&yx=Y&pr=&URLID=42.1676.TN.20210813.1009.001

[2] 崔浩猛，王解先，王明华，等. 利用卫星分布概率对BDS-3性能的评估[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2021，46(6)：938-946

[3] 辛洁，郭靖蕾，田翌君，等. 北斗二号与北斗三号完好性参数设计差异分析[J]. 测绘科学，2021，46(5)：14-19

[4] 祝会忠，左亚辉，徐爱功，等. BDS中长距离非差实时动态厘米级定位算法[J]. 测绘科学，2016，41(12)：195-199

[5] 李团,章红平,牛小骥,等. 城市环境下BDS+GPS RTK+INS紧组合算法性能分析[J]. 测绘通报,2016(9):9-12
[6] 邓远帆,郭斐,张小红,等. 北斗三号卫星多频多通道差分码偏差估计与分析[J]. 测绘学报,2021,50(4):448-456
[7] 章继前,徐宁辉,梁月吉. 不同卫星高度角对GPS/GLONASS/BDS/Galileo融合定位的影响[J]. 全球定位系统,2021,46(2):62-68
[8] 叶克东,熊永良,徐韶光,等. 不同截止高度角对短基线高程方向精度的影响[J]. 全球定位系统,2020,45(6):64-68
[9] 罗权. 不同截止高度角对GAMIT基线解算的影响分析[J]. 测绘地理信息,2017,42(3):14-17
[10] 汪坚明,汪尧峰. 不同截止高度角北斗标准单点定位精度分析[J]. 北京测绘,2020,34(6):843-847
[11] 朱玉香,陈永贵,安春华. 不同截止高度角下BDS-3 SPP精度分析[J]. 测绘通报,2021(3):23-27
[12] 徐爱功,匡野,高猛,等. GPS/BDS/GLONASS/Galileo组合RTK在不同截止高度角下定位性能分析[J]. 测绘工程,2020,29(5):8-14
[13] 李金华,布金伟,左小清. 不同截止高度角下BDS/GPS/GLONASS/Galileo多模组合SPP性能分析[J]. 测绘地理信息,2020,45(4):57-63
[14] 余晓娜,王超,左小清,等. 不同截止高度角下BDS/GPS/GALILEO多模组合SPP解算性能分析[J]. 全球定位系统,2018,43(5):91-97
[15] 贾雪,徐炜. 不同截止高度角GPS/BDS组合伪距差分定位性能分析[J]. 测绘工程,2018,27(8):18-24
[16] 李博,徐爱功,祝会忠,等. 不同截止高度角BDS/GPS伪距单点定位性能分析[J]. 测绘科学,2016,41(12):32-38
[17] 金俭俭,冯灿,周叶,等. BDS3(B1C+B2a)与GPS融合的双频RTK定位精度分析[C]//中国卫星导航系统管理办公室学术交流中心. 第十二届中国卫星导航年会论文集:S04 卫星轨道与系统误差处理,2021:7
[18] 沈笑云,保宁鑫,焦卫东,等. 基于MLAMBDA的BDS/GPS单频RTK性能分析[J]. 空间科学学报,2020,40(2):273-279

(上接第121页)

3 结 语

本文基于北半球高纬度地区两条长基线数据，分别进行了BDS-3、BDS-3/GPS、BDS-3/GPS/Galileo单历元解算实验，得到以下结论：

1）GPS和Galileo的加入能有效提升BDS-3单独定位的卫星可见数，并降低PDOP值。

2）GPS和Galileo的加入能有效降低BDS-3单独定位误差，BDS-3/GPS/Galileo长基线单历元水平定位误差降至5 cm以内，高程定位误差降至10 cm以内。

3）在北半球高纬度地区，BDS-3长基线单历元定位精度可达厘米级，而GPS和Galileo的加入能有效提升BDS-3长基线定位精度与模糊度固定率，BDS-3/GPS/Galileo长基线单历元水平定位精度接近1 cm，甚至优于1 cm，高程定位精度也优于3 cm，模糊度固定率接近100%。

参考文献

[1] 吕明慧,李薇,张宝成,等. 联合高度角与信噪比的精化随机模型及其对高纬度精密单点定位的影响[J]. 全球定位系统,2021,46(3):15-23
[2] 慕仁海,党亚民,许长辉. BDS-3新频点单点定位研究[J]. 测绘通报,2021(3):12-17
[3] 王格,王宁波,李子申,等. 地磁暴期间北半球高纬度地区电离层变化特征及对精密定位的影响[J]. 空间科学学报,2021,41(2):261-272
[4] 张辉,张琦. BDS-3新卫星对极地地区定位性能的影响分析[J]. 地理信息世界,2020,27(3):126-130
[5] 徐炜,贾雪,乔方,等. 北斗在南/北极地区的基本定位性能评估[J]. 大地测量与地球动力学,2018,38(12):1 268-1 273
[6] 姚翔,陈明剑,李滢,等. 极地BDS精密单点定位性能分析[J]. 导航定位学报,2018,6(4):57-63
[7] 麻智鑫. 高纬度地区GNSS多系统定位性能对比分析[J]. 矿山测量,2021,49(4):88-92
[8] 温波,朱庆伟,张俊. 极地地区多模GNSS精密单点定位精度分析[J]. 大地测量与地球动力学,2021,41(7):682-689
[9] 焦京京,刘昌华. 关于BDS/GPS/GLONASS在低中高纬度定位性能研究分析[J]. 信息技术与信息化,2019(8):160-165
[10] 彭劲松. BDS-3新频率与Galileo单频组合伪距单点定位精度分析[J]. 全球定位系统,2021,46(1):57-61
[11] 李勇熹,程鹏飞,徐彦田,等. 顾及高阶电离层延迟的BDS-3/GPS长基线网解精度分析[J]. 测绘科学,2022,47(1):59-65
[12] 高猛,王顺顺,王操,等. BDS中长基线三频RTK算法研究[J]. 大地测量与地球动力学,2022,42(1):5-8
[13] 罗杰. 不同截止高度角下BDS-2/BDS-3短基线RTK定位性能分析[J]. 地理空间信息,2021,19(11):44-47
[14] 汪利,余加学. 北斗三号系统长基线解算精度对比分析[J]. 经纬天地,2020(6):5-7
[15] 赵立都,向中富,周银,等. 北斗三号中长基线定位性能分析[J]. 测绘科学技术学报,2020,37(6):556-561