引文格式：姚刚, 童成宝. 基于GAMIT10.71的BDS-3与BDS-2基线解算精度分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(3): 127-129. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.03.028

基于GAMIT10.71的BDS-3与BDS-2基线解算精度分析

姚　刚[1]，童成宝[1]

（1. 青海省基础测绘院，青海 西宁 810001）

摘　要：基于国际著名的GAMIT/GLOBK软件10.71版本，测试了北斗二号（BDS-2）和北斗三号（BDS-3）的基线解算精度。实验结果表明，单北斗系统（BDS-2、BDS-3号联合）长基线解算相对精度接近10^{-10}级别，比GPS解算结果优越；受当前接收机搜星能力和BDS-3星历精度影响，实验中BDS-2基线解算结果优于BDS-3。随着BDS-3的不断完善，其综合定位精度将会有很大提升。

关键词：BDS-3；GAMIT10.71；长基线；相对精度

中图分类号：P228.1　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）03-0127-03

Baseline Solution Accuracy Analysis of BDS-3 and BDS-2 Based on GAMIT 10.71

YAO Gang[1], TONG Chengbao[1]

(1. Qinghai Institute of Fundamental Surveying & Mapping, Xining 810001, China)

Abstract: In this article, based on the latest GAMIT version 10.71, we tested the baseline solution accuracy of BDS-2 and BDS-3. The experimental results show that the relative accuracy of long baseline solution of BDS(joint BDS-2 and BDS-3) are close to the level of 10^{-10}, which is superior to the GPS solution. Due to the influence of current receiver's star search ability and the accuracy of BDS-3 ephemeris, the baseline solution result of BDS-2 in this experiment is better than BDS-3. With the continuous improvement of BDS-3, it is believed that the comprehensive positioning accuracy of it will soon be greatly improved.

Key words: BDS-3, GAMIT 10.71, long baseline, relative accuracy

目前，世界上全球导航卫星系统（GNSS）包括美国的GPS、俄罗斯的GLONASS、中国的北斗和欧盟的Galileo。时空基准是一个国家的重要基础数据，涉及国家主权安全，我国从2000年开始北斗一号双星定位，经过20多年的艰苦奋斗，于2020年6月北斗三号（BDS-3）全球组网成功[1-2]，标志着北斗正式开始服务于全世界。北斗定位相关理论正在不断完善，支持北斗系统的高精度定位软件也在不断涌现。目前，世界上著名的GNSS高精度定位科研软件包括GAMIT/GLOBK、Bernese和GIPSY，其中GAMIT/GLOBK的影响最大。2020年3月发布的GAMIT 10.71版本在观测类型源文件sel_obtyp.f中增加了北斗三频信号，可支持北斗二号（BDS-2）、BDS-3的数据解算。本文基于GAMIT 10.71软件测试了MGEX项目中核心站BDS-2和BDS-3的基线解算精度，并与GPS解算结果进行了对比，论证了北斗系统实际定位精度，为今后北斗系统大规模应用提供指导。

1　北斗信号编码

北斗系统信号较复杂，很多数据处理的初学者都很难理解，因此本文首先对北斗信号的编码规则进行梳理。根据频率不同[3-5]，北斗信号拥有不同的国际通用ID号，BDS-2的ID为2（B1I/B1Q）、6（B3I/B3Q）和7（B2I/B2Q），BDS-3的ID为1（B1C/B1A）、2（B1I/B1Q）、6（B3I/B3Q）、7（B2b）、8（B2a+B2b）和5（B2a），如表1所示。

GAMIT 10.71版本在2021年10月1日更新的sel_obtyp.f中支持处理的北斗信号如表2中斜体所示，其中支持BDS-2信号B1I/B1Q、B2I/B2Q和B3I/B3Q，BDS-3信号B1C、B1I/B1Q、B3I/B3Q和B2a。特别说明的是，GAMIT暂时不支持B2b信号。B2b是BDS-3的特色信号，除具备卫星导航定位功能，还承载着精

收稿日期：2021-10-26；修回日期：2021-12-20。
项目来源：中央支持青海省藏区基础测绘专项资助项目（2200299）。
第一作者简介：姚刚（1979—），工程师，研究方向为大地测量与工程测量、地理信息系统，E-mail：324150819@qq.com。

密单点定位、全球短报文通信、国际搜救三大服务。

表1 国际导航卫星频率ID分配

ID	Frequency/MHz	BDS-2	BDS-3	GPS	GLONASS	Galileo
9	2492.028					
1	1602+k*9/16				G1	
1	1600.995				G1a	
1	1575.42		B1C/B1A	L1		E1
2	1561.098	B1I/B1Q	B1I/B1Q			
6	1278.75					E6
6	1268.52	B3I/B3Q	B3I/B3Q			
2	1248.06				G2a	
2	1246+k*7/16				G2	
2	1227.6			L2		
7	1207.14	B2I/B2Q	B2b			E5b
3	1202.025				G3	
4	Reserved					
8	1191.795		B2(B2a+B2b)			E5(E5a+E5b)
5	1176.45		B2a	L5		E5a

表2 北斗信号编码规则

GNSS系统	Freq. Band/Frequency	ID	Channel or Code	Observation Codes	
				Pseudo Range	Carrier Phase
BDS-2/BDS-3	B1/1561.098	2	I	*C2I*	*L2I*
			Q	C2Q	L2Q
			I+Q	*C2X*	*L2X*
BDS-3	B1C/1575.42 (BDS-3 Signals)	1	Data	C1D	L1D
			Pilot	C1P	L1P
			Data+Pilot	*C1X*	*L1X*
BDS-3	B1A/1575.42 (BDS-3 Signals)	1	Data	C1S	L1S
			Pilot	C1L	L1L
			Data+Pilot	C1Z	L1Z
BDS-2	B2/1207.140 (BDS-2 Signals)	7	I	*C7I*	*L7I*
			Q	*C7Q*	*L7Q*
			I+Q	*C7X*	*L7X*
BDS-3	B2a/1176.450 (BDS-3 Signals)	5	Data	C5D	L5D
			Pilot	*C5P*	*L5P*
			Data+Pilot	*C5X*	*L5X*
BDS-3	B2b/1176.140 (BDS-3 Signals)	7	Data	C7D	L7D
			Pilot	C7P	L7P
			Data+Pilot	C7Z	L7Z
BDS-3	B2(B2a+B2b)/1191.795 (BDS-3 Signals)	8	Data	C8D	L8D
			Pilot	C8P	L8P
			Data+Pilot	C8X	L8X
BDS-2/BDS-3	B3/1268.52	6	I	*C6I*	*L6I*
			Q	*C6Q*	*L6Q*
			I+Q	*C6X*	*L6X*
BDS-3	B3A/1268.52 (BDS-3 Signals)	6	Data	C6D	L6D
			Pilot	C6P	L6P
			Data+Pilot	C6Z	L6Z

目前，我国BDS-2和BDS-3的在轨卫星数超过50颗，利用PRN号区分卫星，北斗系统服务信号如表3所示。

表3 北斗系统服务信号

系统	PRN	服务信号
BDS-2	≤16	B1I/B2I/B3I
BDS-3	≥19	B1I/B3I/B1C/B2a/B2b

2 北斗数据解算

本文在IGS官网下载多星座项目（MGEX）我国境内的两个核心站（乌鲁木齐站URUM和武汉站WUH2）2021年8月30日观测24 h的RINEX 3.04版本数据，按照30 s采样间隔可获得2 880个历元。绘制每个历元的观测卫星数时间序列，WUH2和URUM两个站观测的BDS-2、BDS-3和GPS卫星数量如图1所示。目前提供BDS-3精密星历的IGS机构只有GBM和WHU两个，本文选择下载GBM的精密星历和多系统导航电文数据参与解算。数据解算采用GAMIT/GLOBK 10.71版本，首先需要更新tables文件，其中月亮星历表LUNTAB、太阳星历表SOLTAB、章动表NUTABL、跳秒表LEAP.SEC一年更新一次；IERS地球自转参数表UT1、POLE每周更新一次。

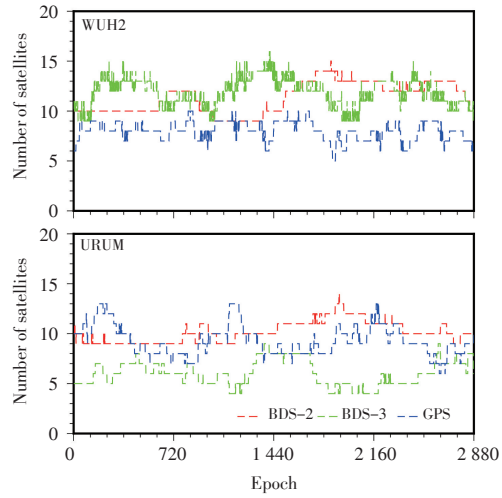


图1 测站每个历元接收卫星个数统计

北斗和其他系统均采用相同的长基线处理策略[6-7]，相较于以前版本，最新的GAMIT 10.71版本在处理策略方面有所改变，默认对所有解算进行高阶电离层延迟改正（Ion model=GMap、Map field=IGRF13），因此需要提前准备好电离层文件并存放在IONEX目录中，sh_gamit参数-ion选项，实施二、三阶电离层改正。

本文设置了4组对照实验，实验1~3为北斗系统解算，作为内部比对；实验4为单GPS系统解算，作为外部比对，结果如表4所示。GAMIT 10.71基线解算sestbl策略设置如表5所示。4组实验的解算过程均采用批处理，执行语句为：

$ sh_gamit -expt bdxt -d 2021 242 -orbit gfzm -gnss C -noftp -ion

其中，-expt为项目名称（只能4个字符）；-d为年和年纪日；-orbit为精密星历机构；-gnss为解算卫星系统；-noftp为本地数据解算；-ion为进行高阶电离层延迟模型改正。

表4　北斗数据解算精度实验设置

实验	参与解算卫星	设置
实验1	BDS-2+BDS-3	svs_exclude.dat 设置禁用卫星 <year> <doy> <PRNs>
实验2	BDS-2（PRNs≤16）	
实验3	BDS-3（PRNs≥19）	
实验4	单GPS系统	

对实验解算结果进行统计分析发现（表6），单北斗系统（BDS-2+BDS-3）基线解算精度已经很高，长基线（2 764 km）相对定位精度可达10^{-10}级别，比GPS结果更优；从本次实验结果来看，BDS-2解算精度优于BDS-3，这是由于BDS-3刚刚全球组网，URUM站接收机还未全面支持所有卫星（图1中URUM的BDS-3卫星数较少），从而导致参与解算的卫星数偏少，且BDS-3的精密星历精度有限，也制约了基线解算结果。

表5　GAMIT 10.71基线解算sestbl策略设置

参数类型	参数设置
数据采样间隔	30 s
Choice of Observable	LC_AUTCLN
Choice of Experiment	RELAX
Type of Analysis	1-ITER
Etide model	IERS03
Tides applied	31
全球海潮模型	otl_FES2004.grid
Elevation Cutoff	10
Interval zen	2
Antenna Model	AZEL
Inertial frame	J2000
Ion model	GMAP
Mag field	IGRF13
DMap	GMF
WMap	GMF

当前，GNSS综合解算软件向多星座联合解算以及多频点混合定位发展，而GAMIT 10.71还只支持单星座，且只能双频解算。下一步的工作重点是基于GAMIT的源代码，优化GNSS核心算法，改进软件的整体性能。

表6　实验解算结果精度统计

卫星系统	基线相对精度	宽巷固定率/%	窄巷固定率/%	NRMS	参与解算的卫星PRN号
BDS-2+BDS-3	7.2×10^{-9}	88.50	69.20	0.23	2 6 7 8 9 10 11 12 13 14 16 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 32 33 34 35 36 37 39 40 41 42 43 44 45 46
BDS-2	1.0×10^{-8}	90.00	90.00	0.25	2 6 7 8 9 10 11 12 13 14 16
BDS-3	2.5×10^{-8}	86.70	46.70	0.27	19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 32 33 34 35 36 37 39 40 41 42 43 44 45 46
GPS	1.4×10^{-8}	100.00	96.80	0.29	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

3　结　语

BDS-3已于2020年完成建设，向全球提供服务。本文基于最新发布的GAMIT 10.71软件测试了BDS-2和BDS-3的基线解算精度。实验结果表明，北斗系统（BDS-2、BDS-3联合）长基线解算相对精度接近10^{-10}级别，比GPS解算结果更优。受当前接收机搜星能力和BDS-3星历精度影响，本次实验获得的BDS-2基线解算结果优于BDS-3。随着GAMIT软件对北斗三频甚至更多频段算法的支持以及BDS-3系统的不断完善，北斗系统综合定位精度将会有很大提升。

参考文献

[1]　王嘉琛，刘根友，郭爱智，等. BDS接收机天线相位中心标定[J]. 测绘学报，2020，49(3)：312-321

[2]　徐立满. 智慧北斗服务全球[J]. 智慧中国，2020(增刊1)：99-100

[3]　何义磊. 北斗三号最简系统卫星信号质量分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2020，45(3)：394-402

[4]　熊辉，沈建军，孙鹏，等. 基于北斗的基准站接收机卫星信号兼容性研究[J]. 科技创新与应用，2019，9(36)：12-14

[5]　范毅，范顺西，郭美军，等. 基于北斗三号卫星空间信号精度及连续性可用性评估[C]//中国卫星导航系统管理办公室学术交流中心. 第十一届中国卫星导航年会论文集：S08 测试评估技术，2020：45-51

[6]　孟凡军，李树军，杜祯强. BDS三频双差载波相位组合平滑伪距算法[J]. 测绘科学技术学报，2019，36(5)：452-457

[7]　温亚鑫，戴吾蛟. 一种变形监测中中长基线的单历元模糊度解算算法[J]. 大地测量与地球动力学，2019，39(9)：942-946