

北斗动对动相对定位精度测试方法研究

汪捷, 徐冠楠

(海军工程大学导航工程系, 武汉 430033)

摘要: 着重研究了适合于北斗动对动相对定位的精度测试方法, 包括基线长度约束检测法、动态瞬时精度检测法、借助 GrafNav 软件比较法, 以及实时与事后比较法等, 并通过实例数据进行了分析和验证。结果表明, 精度检测方法可靠有效, 能够满足动对动定位的精度检测需求。

关键词: 北斗系统; 精度测试; 动态瞬时; GrafNav

中图分类号: P228.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)04-0066-04

On Methods for Testing Beidou Dynamic-Dynamic Positioning Precision

WANG Jie, XU Guan-nan

(Department of Navigation Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Wuhan 430033, China)

Abstract: The methods for testing the precision of Beidou dynamic-dynamic positioning are studied, including baseline length constraint test method, dynamic-instantaneous precision test method, GrafNav software comparison method, real-time and post comparison method and etc. Analysis and verification are made to these methods by using practical data collected in experiments. The result shows that the precision test method has high reliability and effectiveness, which can meet the precision demands of dynamic-dynamic positioning.

Key words: Beidou navigation; accuracy test; dynamic instantaneous time; GrafNav

0 引言

传统 GNSS 差分定位的前提是基准站相对地面处于静止状态, 因此可以利用基准站的精确位置作为求解相对位置的约束参数。但在航空器对接和飞机着舰等一些应用中, 需要求解的是两个运动载体之间的相对位置矢量, 这类技术可以统称为动对动相对定位^[1]。

在动对动相对定位研究中, 如何测试评估某定位系统或算法的定位效果, 往往从精度、可用性、连续性和完好性等方面入手, 而精度则是最能直接说明系统或算法定位效果的因子, 精度测试是判断和测试模型方法精度以及性能的关键环节。动对动定位中由于基线位置的不断变化, 一般很难找到用于精度检测的基准, 且实时野外测试很难复现, 所以对动对动定位进行精度检测具有较大难度, 传统的静态对静态定位或者动态对

静态定位的精度测试方法中, 如静态基线长度已知条件下的检测法、实时定位结果与事后结果比较法等, 相对动对动定位应用而言, 这些方法往往不能全面反映各自算法模型的效果^[2]。

从严格意义上讲定位精度 (Position Accuracy) 包含准确度 (Accuracy) 和精确度 (Precision) 两方面指标。其中: 准确度是指测量值与真实值的符合程度, 用于对解算或者测量值验证是否正确的因子; 精确度是指多次测量的测量结果彼此之间的符合程度, 用于表明测量值的可重复性。从导航定位层面研究而言, 定位精度更多的是指导航设备测量位置与待测点真实位置的一致程度, 也就是定位准确度。常用的精度统计方法有 RMS 均方根法、圆概率误差法 (CEP) 和球概率误差法 (SEP) 等, 其中, RMS 均方根较为常用, 是指 65% 置信概率统计的误差结果。需要说明的是, 为更全面准确地对定位方法进行测定, 在本文中, 定位精度的计算是以所有结果的 95% 置信概率统计为主要衡量指标^[3]。

1 静态检测法

静态检测法是定位精度检测中最易实现, 也是最

收稿日期: 2015-07-20

修回日期: 2016-03-04

基金项目: 预研基金项目 (9140A24020713JB11001); “十二五” 预研项目 (51324040103)

作者简介: 汪捷 (1973—), 男, 江西永新人, 副教授, 研究方向为卫星无线电导航技术及应用。

常见的方法,一直广泛应用于单点定位、常规 RTK、网络 RTK 等定位技术的精度检测。主要方法是:在已知的区域内选取两个检测点,进行长时间的同步静态观测,对长时间采集的数据进行处理,得到的两点之间的相对基线向量即可作为检验标准。测试过程中,将基准站和流动站接收机分别架于两个不同的检测点,进行静态单点定位,采集并保存数据。在事后数据处理过程中,结合已有的基线向量基准,对实时定位结果进行分析统计,可以测得静态条件下的定位精度^[4]。

在静态精度检测方法中,其显著优点在于检测的结果可以较为准确地反映定位的精度,但不足之处在于检测动态定位系统时,不能完全反映定位精度和测试模型算法。其原因有以下两点:首先,静态检测方法通常是采用静态测量方式,在这种条件下测试的结果比较理想,难以真实反映实际动态相对定位应用中的精度测试;其次,静态检测需要不变的已知准确坐标的点或者相对基线标准,而在某些测量复杂区域较难实现。

2 动态检测方法

在对传统精度检测法分析的基础上,着重考虑实际动态相对定位的特点、应用条件等因素,提出以下几种不同类型的动态精度测试方法。

1) 基线长度约束检测法。

首先是在已知两点之间基线的动态相对定位情况下,诸如固定于汽车等载体之间的接收机,这种方法一方面用于研究载体的三维姿态变化以及分量矢量的变化,另一方面应用于对相对基线解算方法可靠性和可用性的验证。其操作方法是,将基站和流动站的接收机天线固定于某一个运动载体上,进行长时间的实时动态定位,并采集数据。在事后处理过程中,不利用已知基线长度的信息,而是利用某些算法对采集数据进行解算得出其基线长度结果,将此结果和已知的基线长度做比较,两者的差值反映了某些算法的精度和可靠性^[5]。

2) 实时与事后处理结果比较。

一般而言,GNSS 数据的事后处理效果要明显优于实时处理。因此,如果为了研究实时性定位解算效果,在采集的数据足够多的情况下,一般将事后数据处理的定位结果作为标准值,把实时解算的结果与事后数据处理的结果进行比较,根据差值结果的置信度等反映系统实时定位精度。

3) 动态瞬时检测。

为考察在动态定位中某些瞬时历元定位结果的实时性以及和事后解算结果的符合程度,就必须对某些历元定位精度进行瞬时检测。这要求必须设立某些固定点,将其对应的历元实时解算结果与事后对应历元结果

做比较。具体方法是,进行精度检测时,在设定好的运动路线的特殊点(如转折点,中点等)上设置多对相对位置精确已知的检测点,将基准站和流动站接收机各自同时运动到上述的某对检测点上,记录下此时解算的北斗时刻数,事后对该历元下的解算结果进行比较。与纯静态和准动态测试相比,该方法能够反映接收机的运动状态,不足点在于只能对某些时刻的运动状态进行检测,无法连续地反映系统定位精度^[6-7]。

4) GPS 软件解算结果比较。

GPS 定位技术目前已经非常成熟,系统定位精度可达厘米甚至毫米级,对于短基线的动态相对定位来说,北斗系统与 GPS 系统差异导致的基线解算偏差并不是很大,以 GPS 基线处理结果作为标准值验证北斗相对定位精度有一定的参考作用。目前有诸多适合于静态、动态 GPS 数据解算的商用软件,如 GrafNav 软件等。GrafNav 是 Novatel 公司的 GNSS 事后处理软件,该软件采用了完善的滤波算法,功能强大、稳定,利用双频 GPS 在 5 km 内的动态测量精度可达到 1 cm + 1 ppm (GrafNav Web)。利用这些软件解算的 GPS 结果可以作为检测 BDS 定位精度的辅助参考标准^[8-10]。

3 实例分析

在对精度检测方法做大致介绍后,结合部分试验数据进行实例说明。

3.1 静态检测法

为验证上述静态检测法效果,现进行静态相对定位试验验证。由于实际应用中相对定位的基线不会很长,现选择两对相对坐标精确已知的检测点,其中一条为超短基线 L_1 ,经测量长度为 15.254 m,另一条基线 L_2 长度稍长,为 1 550.682 m。检测过程中,每条基线的同步观测时间都为 1 h 左右,采样时间为 1 s。实时解算软件根据采集的数据独立解算出每个历元 GPS 和 BDS 的基线结果,分别统计相应解的内、外符合精度。

表 1 为两条基线的静态检测结果,即两条测试基线在以基准站为中心的东北天坐标系下的 N, E, U 和平面方向上的内外符合精度。其中, N, E, U 方向偏差为以基准站为中心东、北、天坐标系下的直角坐标。

由表 1 可以看出, BDS 实时基线解算结果在 N, E, U 3 方向和平面方向的外符合精度都优于 4 cm, 其中, 第一条基线 GPS 的解算结果略优于 BDS, 第二条基线 BDS 和 GPS 的解算结果精度相当, 并且无论是 BDS 系统还是 GPS 系统, 解算结果在平面方向的精度都比高程方向要高。

3.2 动态检测法

上述动态检测法 1) 和 3) 均为与标准结果对比, 上

述静态检测中已做分析,因此下面主要对两法做试验测试。

1) 基线长度已知条件的精度检测。

试验开始前,将基准站和流动站的天线分别固定于一根钢管两端螺纹接口处,将其置于各自的试验小车上,在测量区域推动小车运动约 10 min,数据采样率为 1 s,同步采集并保存两站数据。利用实时解算软件分别解算出各个历元时刻的 BDS 和 GPS 的基线结果,事后分别统计 BDS 和 GPS 实时解算的内、外符合精度。事后数据处理前,精确测得固定基线长度值为 0.910 m。精度检测时,设定基线长 1 m 为上限。表 2 列出 BDS 和 GPS 实时解算的基线长度精度指标,图 1 所示为 BDS 和 GPS 每个历元解算基线长度与真值的偏差示意。

表 1 静态检测精度

Table 1 Static measurement precision m

方向	$L_1(15.254)$		$L_2(1550.682)$		
	内符合	外符合	内符合	外符合	
GPS	N	0.004	0.005	0.015	0.040
	E	0.005	0.005	0.008	0.012
	U	0.021	0.025	0.038	0.049
	平面	0.009	0.008	0.014	0.042
BDS	N	0.010	0.011	0.010	0.035
	E	0.008	0.015	0.008	0.015
	U	0.030	0.039	0.032	0.045
	平面	0.012	0.018	0.018	0.045

表 2 固定基线长度精度测试结果

Table 2 Positioning accuracy of test results

定位系统	观测历元总数	超限个数/ bias > 0.1 m	外符合 RMS/mm	合格历元 百分比/%
GPS	560	2	3.5	99.64
BDS	560	10	9.2	98.21

由表 2 可知,在试验结果测试中,BDS 解算得到的基线长的外符合精度都在 1 cm 以内,与 GPS 相比而言,BDS 数据基线长的解算精度和数据有效成功率略低。

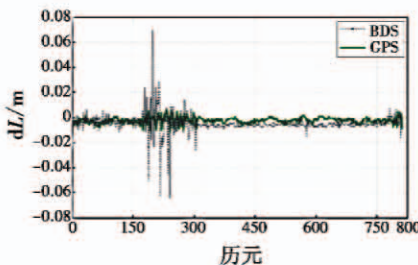


图 1 各历元解算的基线长度偏差

Fig. 1 The relative baseline length deviation for calculating each epoch

由图 1 可知,GPS 解算的结果偏差在零值上下波动,波动幅度比较小,而 BDS 波动程度大于 GPS,在第 200 个历元附近,BDS 系统解算的相对基线误差最大,

为 0.07 m,而此时 GPS 在 0.01 m 上下波动,随着历元数增多,BDS 和 GPS 最终解算的基线偏差收敛于 0.01 m 附近。经分析,在第 200 历元左右处有树木遮挡,由于 BDS 可视卫星数目较多,变化较快,导致在该处 BDS 数据偏差较 GPS 更大,在图中表现为第 100 到 200 历元之间的 BDS 和 GPS 基线偏差均大于其他历元,并且 BDS 变化幅度更为剧烈。

2) 动态瞬间检测。

选择上述静态检测中的超短基线为检验标准,如图 2 所示,BD 为待检测基线,C 为基线中点。试验开始后,一人手持装有天线的装置按照路线 A→B→C 运动,另外一人持天线装置按照路线 E→D→C 运动,当第一人前进到 B 点时候,确保第二人也行进到 D 点,由第三人根据解算软件记录下此刻对应的北斗周秒,作为一次检测。在中点 C 处相遇后,再沿着各自路线返回,同样两人分别达到 B 点和 D 点时记录下此刻对应的北斗周秒进行一次检测,如此往返 5 个来回,共检测 10 次。

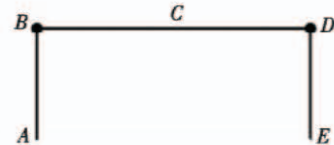


图 2 动态瞬间检测试验示意

Fig. 2 Dynamic instantaneous test

事后数据处理时,根据试验过程中记录的北斗周秒查找对应的历元,并将天线高程转换为地面测站点之间的相对基线结果,与 BD 基线真值做比较。表 3 为动态瞬间比较结果,其历元时刻是从 195 250 开始,到 195 500 结束。

表 3 动态瞬间检测精度统计

Table 3 Dynamic moment precision statistics

时刻/周秒	dx/cm	dy/cm	dz/cm	L/cm
195 298	-1.6	-2.8	-4.2	-2.8
195 332	0.2	4.0	-0.4	-2.1
195 353	-1.8	-0.6	-2.5	-2.2
195 374	0.4	1.2	-5.4	-5.1
195 389	-2.8	-1.0	3.5	3.1
195 410	0.4	1.8	-4.8	-5.0
195 429	-2.0	1.2	-4.9	-5.2
195 445	4.8	3.0	-4.6	-4.3
均方根值/cm	2.4	2.2	4.0	3.5

表 3 对 10 个历元动态条件下的基线解算偏差进行了一定的统一。其中,dx,dy,dz 表示利用软件实时解算的基线分量与基线参考真值的偏差,L 表示基线长度偏差。由统计结果可以看出,在测试的 10 个历元中,dx,dy,dz 和 L 偏差量都在厘米级水平,基线长度最大偏差量为 5.4 cm。

4 总结

为测试动相对定位条件下的系统或者算法定位精度的问题,本文在传统相对定位精度检测方法分析的基础上,着重从基线长度、实时性等条件入手,研究了动定位条件下的精度检测方法。为验证各种方法的可靠性和有效性,分别提出试验方案并进行试验测试,结合试验结果分析可得,提出的基线长度已知情况下的事后精度测试法、动态瞬间历元检测法都能够可靠有效地反映系统定位的精度以及性能指标等。为此,在实际动定位精度测试过程中,往往需要综合考虑动静情况,是否基线已知,所用系统等多种条件,并合理选择上述精度测试方法。

参考文献

[1] 葛茂荣,谢宝童. 动态对动态 GPS 实时差分定位[J]. 工程勘察,1998(4):57-59. (GE M R, XIE B T. Real-time relative positioning for two moving GPS receivers [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 1998(4):57-59.)

[2] 刘立龙. 动态对动态 GPS 高精度定位理论及其应用研究[D]. 武汉:武汉大学,2005. (LIU L L. The research on the precise KINRTK theory and its applications [D]. Wuhan: Wuhan University, 2005.)

[3] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2008. (LIU J Y. The method and principle of GPS [M]. 2nd ed. Beijing: The Science Press, 2008.)

[4] 张豪,杨春燕,张磊,等. 一种快速确定 GPS 整周模糊度的方法. [J]. 火力与指挥控制,2014,39(10):27-29.

(ZHANG H, YANG C Y, ZHANG L, et al. A resolution method of GPS integer ambiguity rapid determination[J]. Fire Control and Command Control, 2014, 39(10):27-29.)

[5] 唐卫明. 大范围长距离 GNSS 网络 RTK 技术研究及软件实现[D]. 武汉:武汉大学,2006. (TANG W M. Research on techniques of largearea and long range GNSS network RTK and developing network RTK software [D]. Wuhan: Wuhan University, 2006.)

[6] 孙红星. 差分 GPS/INS 组合定位定姿及其在 MMS 中的应用 [D]. 武汉:武汉大学,2004. (SUN H X. DGPS/INS intergrated position and attitude determination and its application in MMS [D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.)

[7] 耿延睿,张伟伟,崔中兴. 基于 SINS 辅助的 GPS 完善性监测方法 [J]. 北京航空航天大学学报,2001,27(2):164-166. (GENG Y R, ZHANG W W, CUI Z X. A monitoring method of GPS integrity based on SINS assistance [J]. The Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2001, 27(2):164-166)

[8] ELMOWAFY A. Performance analysis of the RTK technique in an urban environment [J]. Critical Care Medicine, 2000, 31(45):1399-1404.

[9] FENG Y M, WANG J L. GPS RTK performance characteristics and analysis [J]. Journal of Global Positioning Systems, 2008, 7(1):1-8.

[10] GAO Y, WOJCIECHOWSKI A. High precision kinematic positioning using single dual frequency GPS receiver [J]. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004, 34:1-5.

(上接第 32 页)

[12] HU J W, XIE L H, XU J, et al. Multi-agent cooperative target search [J]. Sensors, 2014, 14:9408-9428.

[13] NIGAM N, BIENIAWSKI S, KROO I, et al. Control of multiple UAVs for persistent surveillance: algorithm and flight test results [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2012, 20(5):1236-1251.

[14] 轩永波,黄长强,吴文超,等. 运动目标的多无人机编队覆盖搜索决策 [J]. 系统工程与电子技术,2013,35(3):539-544. (XUAN Y B, HUANG C Q, WU W C, et al. Coverage search strategies for moving targets using multiple unmanned aerial vehicle teams [J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(3):539-544.)

