

DOI:10.13203/j.whugis20170044



文章编号:1671-8860(2019)02-0159-07

北斗广域差分分区综合改正数定位性能分析

张益泽^{1,2,3} 陈俊平^{1,2,4} 杨赛男¹ 陈倩^{1,2,4}

1 中国科学院上海天文台,上海,200030

2 上海市空间导航与定位技术重点实验室,上海,200030

3 同济大学测绘与地理信息学院,上海,200092

4 中国科学院大学,北京,100049

摘要:目前北斗广域分米级星基增强系统在钟差改正数、轨道改正数的基础上,提出了基于相位观测值的分区综合改正数,介绍了分区综合改正数的概念及单频、双频用户的使用方法与定位模型。利用中国范围不同地区的北斗观测数据和对应的分区综合改正信息,统计了单频和双频用户分区综合改正精密单点定位的精度,并对其收敛性进行了分析。通过与使用GFZ提供的北斗超快速精密星历的定位效果比较,验证了分区综合改正定位在实时定位中的优势。在此基础上进一步对中国范围内分区综合改正定位效果与分区中心距离的关系进行了分析,并对不同观测时间长度的定位效果进行比较。结果表明,经分区综合改正后的双频用户平均25 min内动态定位三维误差能收敛至0.5 m以内,收敛后的定位精度为水平0.15 m,高程0.2 m;单频用户平均20 min内动态定位三维误差能收敛至0.8 m以内,收敛后的定位精度为水平0.3 m,高程0.5 m。随着用户站距离分区中心越远,定位效果总体呈现变差的趋势。总体上,当用户在分区中心1 000 km范围内时,北斗广域分区综合改正数将能提供实时分米级定位服务。

关键词:北斗;分区综合改正数;等效钟差;轨道改正数;收敛时间;精密单点定位

中图分类号:P228

文献标志码:A

北斗卫星轨道参数利用区域监测网的观测数据,进行精密定轨(precise orbit determination, POD),经广播星历拟合后得到^[1-3];卫星钟差参数则是基于星地双向时间比对(two-way satellite time transfer, TWTT),并进行参数拟合得到^[1,3-4]。目前中国北斗系统能满足亚太地区用户平面10 m、高程10 m、授时精度10 ns以内的定位导航授时服务^[5]。

为了提供更高精度的用户增强定位服务,中国建设了北斗广域星基增强系统,其广域差分信息是指利用CNMC(code noise and multipath correction)算法进行实时相位平滑伪距^[6],通过中国境内北斗监测站实时计算卫星等效钟差(equivalent satellite clock, ESC)^[7],并通过广播D2导航电文实时播发给用户。研究表明,基于北斗广播星历和广域差分信息能使双频用户定位精度提高50%,单频用户定位精度提高30%^[7]。然而,以上广域差分信息并没有完全利用高精度相

位信息,用户差分距离误差(user differential range error, UDRE)仍然达到0.5 m,这必然限制高精度用户实时定位的应用。

基于此,中国改造的北斗广域分米级星基增强系统提出了分区综合改正数的概念,利用高精度相位观测值计算分区综合改正数^[8]。为了验证分区综合改正数的精度和可靠性,本文在介绍基于分区综合改正数的用户定位模型的基础上,对其定位性能进行全面而系统的评估,为广域分米级星基增强系统的性能和应用提供参考和依据。

1 分区综合改正数模型

1.1 分区综合改正数计算模型

北斗广域星基增强系统基于平滑后的伪距计算广域差分改正信息,由于伪距没有模糊度信息,这种方法计算量小,也比较可靠。然而,受伪距噪声或者平滑后的残余误差的影响,经广域差分后

收稿日期:2017-12-05

项目资助:国家自然科学基金(11403112, 11673050);上海市空间导航与定位技术重点实验室基金(KFKT_201706)。

第一作者:张益泽,博士,主要从事GNSS精密定位和广域差分研究。zhyize@163.com

通讯作者:陈俊平,博士,研究员。junping@shao.ac.cn

的 UDRE 达到了 $0.5 \text{ m}^{[7]}$, 无法为高精度用户定位提供服务。

北斗广域分米级星基增强系统提出了分区综合改正数的概念^[8], 该方法认为在一定距离范围内, 用户在卫星端和传播路径上的误差是相关的。因此将中国区域划分成若干区域, 利用该区域内的监测站和广播星历及等效钟差和轨道改正数实时计算包含接收机钟差和模糊度残余项的双频相位观测值残差, 同时对同一区域内的多站相位观测值进行综合, 获得包含接收机钟差残差和恒定的模糊度残差的相位综合改正数, 并将其实时播发给用户, 实现导航用户的实时高精度定位。分区综合改正数的计算流程如下。

1) 计算同一分区各个站的双频无电离层组合相位观测值残差

$$dL(i, t) = LC - \rho - \delta_{\text{rec}} + \delta^{\text{sat}} - \delta_{\text{trop}} - \delta_{\text{rela}} - \delta_{\text{amb}} - \delta_{\text{ESC}} - \delta_{\text{orb}} + \epsilon \quad (1)$$

式中, L 为分区内第 i 个监测站在历元 t 的相位无电离层组合观测值; ρ 为利用广播星历计算得到的监测站至卫星的几何距离; δ_{rec} 为由伪距计算得到的监测站近似接收机钟差; δ^{sat} 为由广播星历计算得到的卫星钟差; δ_{trop} 为对流层延迟误差; δ_{rela} 为相对论改正; δ_{amb} 为利用伪距相位观测值得到的卫星模糊度近似值; δ_{ESC} 为卫星等效钟差改正; δ_{orb} 为卫星轨道改正; ϵ 包含相位缠绕、接收机相位中心改正、固体潮、海潮等误差及观测噪声。需要注意的是, 由于卫星各频点之间存在频间差^[9], 而目前广播星历卫星钟差是以 B3 频点为基准^[10], 因而在计算非 B3 频点的卫星钟差时, 需要进行 TGD(timing group delay)改正。

从式(1)中可以看出, 相位观测值残差除了观测噪声及卫星轨道残差、卫星钟差残差、对流层模型残差等一些共性误差外, 还包含了接收机钟差的残余项及模糊度残余项。

2) 计算同一分区各个站的相位观测值残差历元间变化

$$\Delta L(i, t, t-1) = \begin{cases} 0, & t = 1 \\ dt(i, t) - dt(i, t-1), & t > 1 \end{cases} \quad (2)$$

3) 计算分区相位综合改正数

$$dL(t) = f(\Delta L(t, t-1)) + dL(t-1) \quad (3)$$

式中, f 为相位改正数综合函数。一般情况下, f 为各个站的加权平均, 但当不同站卫星消失或出现, 个别卫星发生周跳, 或某些站发生钟跳时, 需要进行周跳/钟跳修复或数据取舍。

1.2 分区综合改正数定位模型

用户获得分区综合改正数后, 即可利用广播星历, 结合等效钟差和轨道改正进行实时精密单点定位。

1) 双频用户

对于 B1B2 或 B1B3 用户, 采用无电离层组合消除电离层误差, 其定位模型为:

$$\begin{cases} PC = \rho + \delta_{\text{rec}} - \delta^{\text{sat}} + \delta_{\text{trop}} + \delta_{\text{rela}} + \delta_{\text{ESC}} + \delta_{\text{orb}} + \epsilon_{\text{PC}} \\ LC = \rho + \delta_{\text{rec}} - \delta^{\text{sat}} + \delta_{\text{trop}} + \delta_{\text{rela}} + \delta_{\text{amb}} + \delta_{\text{ESC}} + \delta_{\text{orb}} + dL + \epsilon_{\text{LC}} \end{cases} \quad (4)$$

式中, PC 和 LC 为 B1B2 或 B1B3 无电离层组合伪距和相位观测值, 其他符号与式(1)相同。比较式(1)和式(4), 可以发现, 相位观测值中, 虽然卫星轨道和钟差由于使用广播星历计算存在误差, 但经等效钟差和轨道改正后的残余项误差被分区综合改正数 dL 吸收了。分区综合改正数中包含的监测站钟差误差由于对所有卫星都相同, 可以被用户站钟差参数吸收; 监测站各卫星模糊度残差可以被用户站模糊度参数吸收。由于一个播发频率时间范围内(90 s 或 180 s)卫星轨道和误差变化非常小, 当用户站和计算分区综合改正数使用的广播星历及等效钟差轨道改正数相同时, 用户的 UDRE 主要表现为观测噪声和因地区差异造成的对流层模型误差的差异。对于伪距观测值, 由于分区综合改正数中包含监测站各卫星的模糊度残差, 无法直接使用, 只能通过等效钟差和轨道改正数进行修正, 因此相比于一般的精密轨道和钟差定位, 伪距残差中除了观测值噪声, 还包含了经等效钟差和轨道改正后的残余轨道和钟差误差。

2) 单频用户

对于单频用户, 电离层误差是影响其定位精度的重要原因。目前北斗广播星历为基本导航用户提供 8 参数电离层模型, 为增强导航用户提供 14 参数电离层模型和格网电离层信息, 其改正精度为 0.5 m 左右^[11-12]。Gao 于 2002 年提出了 UofC 模型(又称为半合法)^[13], 利用伪距和相位电离层延迟相反的特性, 对单频伪距相位进行组合, 以消除电离层误差。基于这种方法, 建立单频伪距相位用户的定位模型:

$$\begin{cases} P = \rho + \delta_{\text{rec}} - \delta^{\text{sat}} + \delta_{\text{trop}} + \delta_{\text{iono}} + \delta_{\text{rela}} + \delta_{\text{ESC}} + \delta_{\text{orb}} + \epsilon_P \\ \frac{P+L}{2} = \rho + \delta_{\text{rec}} - \delta^{\text{sat}} + \delta_{\text{trop}} + \delta_{\text{rela}} + \delta_{\text{amb}} + \delta_{\text{ESC}} + \delta_{\text{orb}} + dL + \epsilon_L \end{cases} \quad (5)$$

式中, P 和 L 为单频伪距和相位观测值; δ_{iono} 为利

用 14 参数模型或格网电离层信息计算得到的电离层延迟;其他参数与式(1)的定义一致。需要注意的是, δ_{amb} 实际上是单频相位模糊度的一半。

2 数据处理策略

理论上,分区范围越小,区内各站的误差相关性越大,但北斗 GEO 卫星上广播资源有限,因此经综合取舍后,北斗广域分米级星基增强系统将中国范围划分成 18 个分区。利用全国分布的监测站在每个分区按照 § 1.1 介绍的方法计算各分区的相位综合改正数,并通过 GEO 卫星实时广播给用户。目前北斗分区综合改正数计划按照 I 支路 180 s(重点区域可提高采样率)进行播发。由于分区改正数中包含模糊度残差,因此为验证分区综合改正数的精度和可靠性,需通过用户定位结果进行分析。

图 1 显示了各个分区所定义的中心示意图,图 1 中紫色、青色、黄色范围为距离分区中心 300 km、600 km、1 000 km 时的覆盖范围。从图 1 中可以看出,当距离分区中心 600 km 时,可以覆盖 90% 以上的中国国土;当距离分区中心 1 000 km 时,可以辐射到周围邻近国家。

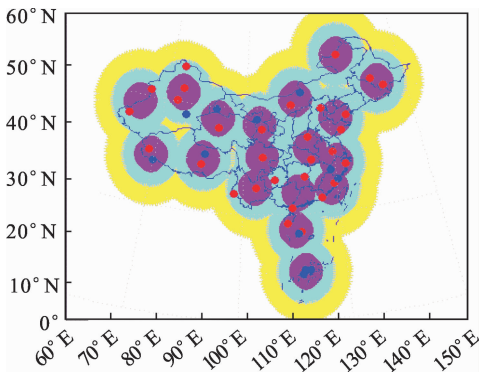


图 1 分区覆盖范围及测试站

Fig. 1 Zone Area and Test Stations

选取中国范围内约 30 个北斗观测站,测站分布见图 1 蓝色和红色点位,所有测站坐标已知,且精度优于 2 cm。观测站伪距测量精度约为 33 cm,相位测量精度约为 2 mm^[14]。对于每个测站,首先根据其概略位置,进行 1 000 km 以内最近的分区的匹配。经过统计,所有用户站至分区中心的平均距离为 597 km。在此基础上,利用该分区实时计算的分区综合改正数对每个测站进行精密单点定位(precise point positioning, PPP)。表 1 给出了定位时的处理策略和参数估计方法。计算选取了 2016 年年积日(day of year, DOY) 346~348 共 3 d 的数据,每 6 h 截取一段数据,每

个测站共计算 12 个时段的结果。每个时段内分别按照 B1B2、B1B3、B1、B2、B3 频点进行用户静态、动态分区综合改正定位。

表 1 分区综合改正精密单点定位处理策略

Tab. 1 Settings for Zone-Divided PPP

估计方法	卡尔曼滤波
卫星轨道和钟差	广播星历
广域差分改正信息	等效钟差,轨道改正,分区综合改正
数据采样率/s	30
卫星截止高度角/(°)	10
电离层误差	双频:无电离层组合 单频:北斗广播星历改正模型
对流层误差	GPT2w+SAAS+VMF1
固体潮、海潮	IERS 协议
测站坐标	估计,先验约束 10 000 m
测站钟差	估计,先验约束 0.001 s
模糊度	估计

3 分区综合改正数定位性能分析

3.1 分区综合改正定位结果统计

按照 § 2 所述方法,对 3 d 所有时段的分区综合改正定位结果进行统计,将每个时段第 4~6 h 的定位结果作为最终结果,统计其均方根误差(root mean square, RMS)。表 2 为不同频点静态和动态模式下所有测站的分区综合改正定位统计结果的平均值。从表 2 中可以看出,对于双频用户,静态定位平均精度在平面小于等于 0.10 m,高程小于等于 0.15 m;动态定位平均精度在平面小于 0.15 m,高程小于 0.20 m。而对于单频用户,其静态平均定位精度在平面小于等于 0.16 m,高程小于等于 0.45 m;动态平均定位精度在平面小于 0.30 m,高程小于等于 0.46 m。单频在静态或动态模式下都比双频用户定位结果稍差,这主要受伪距电离层改正和伪距观测噪声的影响。由于用户站到分区中心的平均距离为 597 km,因此表 2 中的结果可认为是 600 km 内用户分区综合改正定位所能达到的精度。

为了对照比较,下文主要以动态用户定位结果为例进行进一步分析。

表 2 不同频点、不同模式下分区综合改正定位 RMS/m

Tab. 2 RMS of Zone-Divided PPP Results for Different Modes/m

频点	静态		动态	
	平面	高程	平面	高程
B1B2	0.07	0.13	0.11	0.18
B1B3	0.10	0.15	0.14	0.19
B1	0.13	0.36	0.22	0.43
B2	0.14	0.41	0.23	0.43
B3	0.16	0.45	0.27	0.46

为观察定位误差的分布,图2统计了B1B2组合和B1频点分区综合改正动态定位结果在平面和高程方向的误差分布情况。从图2中可以看

出,双频用户动态定位在平面上87%优于0.2 m,高程上83%优于0.6 m;单频用户动态定位在平面上81%优于0.3 m,高程上88%优于0.7 m。

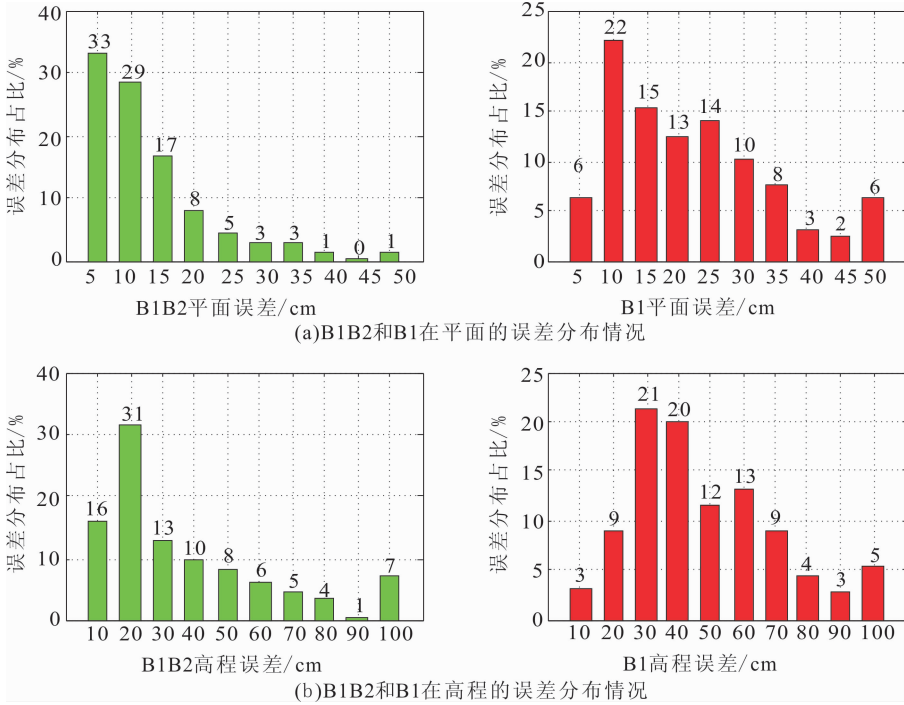


图2 B1B2和B1分区改正动态定位结果在平面和高程的误差分布

Fig. 2 RMSs of Zone-Divided Kinematic PPP Results for Horizontal and Vertical Components for B1B2 and B1

3.2 分区综合改正定位收敛性分析

对于实时动态用户,更关心的是精密定位收敛情况,因此本小节对分区综合改正动态定位收敛情况进行分析。

图3是一组典型的B1B2组合和B1频点分区综合改正动态定位结果,该测站距离分区中心

696 km。可以看到,双频数据在0.5 h内迅速收敛至0.5 m以内,单频数据在1 h内收敛至0.5 m以内。统计1 h后的定位误差,双频定位精度在N、E、U 3个方向分别约为0.02 m、0.05 m、0.19 m,而单频定位精度在N、E、U 3个方向分别约为0.06 m、0.11 m、0.44 m。

STA=28,DIS=696.5 km,ZONE=12,T=2016346

STA=28,DIS=696.5 km,ZONE=12,T=2016346

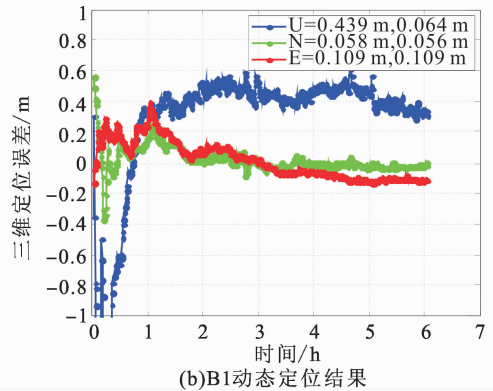
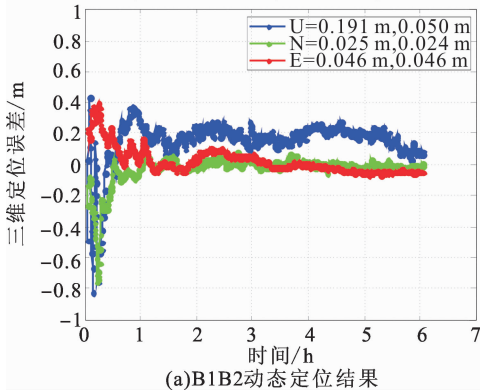


图3 B1B2及B1典型分区综合改正动态定位结果

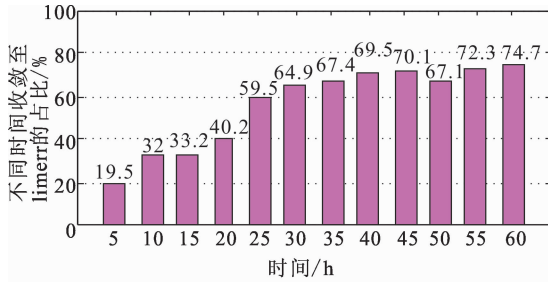
Fig. 3 Typical Zone-Divided Kinematic PPP Results for B1B2 and B1

为了观察全部数据的收敛情况,对所有结果第1 h的分区动态定位结果进行统计。图4给出了B1B2组合和B1频点动态定位收敛情况。对于双频用户,定义收敛时间为三维定位误差小于

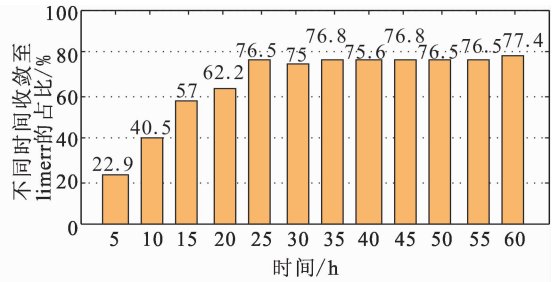
0.5 m(limerr=0.5 m);对于单频用户,定义收敛时间为三维定位误差小于0.8 m(limerr=0.8 m)。统计三维误差收敛在不同时间内收敛至limerr的百分比,并计算平均三维定位误差。从

图 4 中可以看出,双频用户平均在 25 min 内三维误差可收敛至 0.5 m 以内,单频用户在 20 min 内

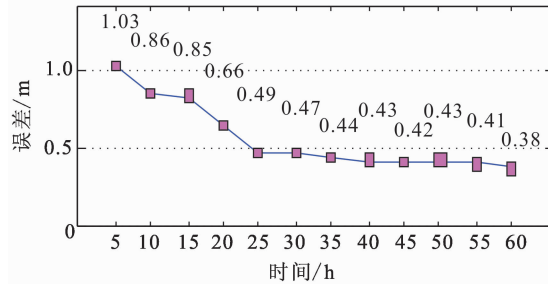
三维误差可收敛至 0.8 m 以内。



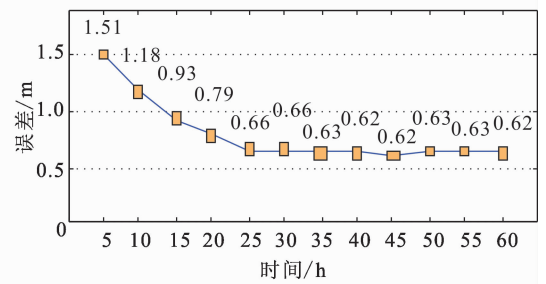
(a) B1B2 三维定位误差收敛至 limerr=0.5 m 的百分比



(b) B1 三维定位误差收敛至 limerr=0.8 m 的百分比



(c) B1B2 三维平均定位误差



(d) B1 三维平均定位误差

图 4 B1B2 和 B1 分区综合改正动态定位收敛情况统计

Fig. 4 Convergence Statistics of Zone-Divided Kinematic PPP for B1B2 and B1

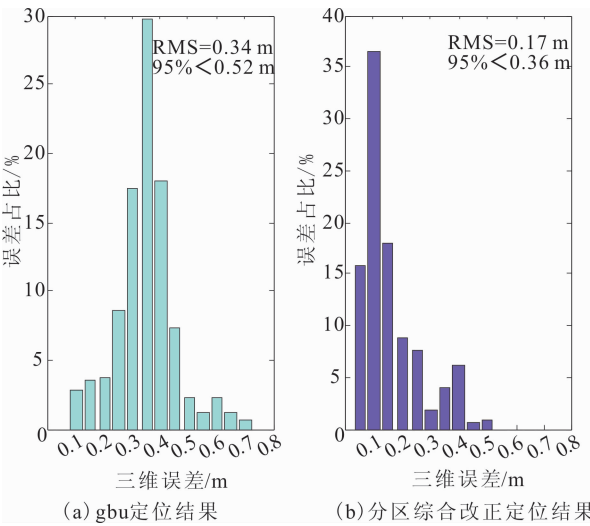


图 5 gbu 产品与分区综合改正 B1B2 动态定位结果统计

Fig. 5 Statistics of Kinematic PPP using gbu Products and BDS Zone Corrections

3.3 分区综合改正数定位与 gbu 定位结果比较

IGS 于 2012 年提出了 MGEX(multi GNSS experiment)计划^[15],致力于提供多 GNSS 系统服务。目前共有 CODE、GFZ、WHU 3 个分析中心持续提供北斗事后精密产品,其中 GFZ 从 2016 年开始,每隔 3 h 发布一次包含 GPS + GLONASS + Galileo + BDS + QZSS 在内的超快速精密轨道和钟差产品 gbu^[16](ftp://ftp. gfz-potsdam. de/GNSS/products/mgex/),包含 24 h

观测部分和 24 h 预报部分。

分别利用分区综合改正信息和 gbu 精密轨道和钟差进行 B1B2 用户动态定位,比较二者的定位效果。由于 gbu 预报部分的钟差精度较差,本文只选用其观测部分的轨道和钟差。图 5 给出了二者在动态定位 1 h 后的三维误差分布情况。从图中可以看出,使用 gbu 产品时,其三维误差 RMS 为 0.34 m,95% 小于 0.52 m,而分区综合改正动态定位三维误差 RMS 为 0.17 m,其 95% 小于 0.36 m。统计采用 gbu 超快速星历 3 d 所有时段所有用户站的 B1B2 动态定位结果,其平面和高程误差分别为 0.15 m、0.28 m。与表 2 的结果相比,基于分区综合改正数的定位结果在平面和高程上均有明显提高,且高程上改善更明显,这是由于分区综合改正数不仅改正了轨道和钟差误差,还改正了区域内对流层延迟残差等一些共性误差。这说明在服务范围内,分区综合改正数较 gbu 超快速星历定位精度更高。

3.4 分区综合改正数中国范围内定位效果分析

前面分析了分区综合改正定位的效果及优势,本节对所有数据的结果进行进一步统计,图 6 给出了 DOY 346 这天不同观测时长(第 1~2 h、第 2~4 h、第 4~6 h)下观测站至分区中心的距离与 B1B2 组合分区综合改正动态定位 RMS 的关系。由图 6 中可以看出,2 h 后用户定位实际上已经趋于稳定,随着用户站距离分区中心越远,

定位效果总体呈现变差的趋势。总体上,当用户在分区中心 1 000 km 范围内时,分区综合改正数都能实现分米级定位服务。

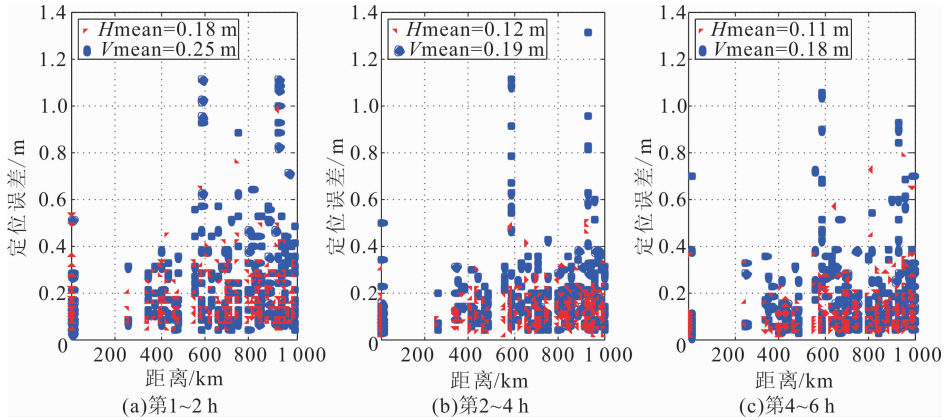


图 6 不同时长范围内分区改正定位结果与分区中心距离的关系(以 B1B2 动态定位为例)

Fig. 6 Relationship Between Zone-Divided PPP Performance and the User's Distance to Zone Center (B1B2 Kinematic PPP)

4 结 语

本文介绍了北斗广域分米级星基增强系统中分区综合改正数的原理,给出了基于分区综合改正数的用户定位模型,同时利用半合法将分区综合改正数应用于单频用户定位,并给出了其定位模型。利用中国范围内不同地区的北斗观测数据和分区综合改正信息,对单频和双频用户分区综合改正定位性能进行了评估,为中国广域分米级增强系统的应用提供了参考和依据。

分区综合改正数通过广播电文播发给用户,未来只要对用户接收机软件进行升级改造,当收到分区综合改正数时,就可以在服务区范围内实现实时分米级精密定位,这将为我国北斗导航系统的推广和应用提供重大支持。

参 考 文 献

[1] Zhou Shanshi, Hu Xiaogong, Wu Bin, et al. Orbit Determination and Time Synchronization for a GEO/IGSO Satellite Navigation Constellation with Regional Tracking Network[J]. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2011, 54(6): 1 089-1 097

[2] Zhou Shanshi, Cao Yueling, Zhou Jianhua, et al. Positioning Accuracy Assessment for the 4GEO/5IGSO/2MEO Constellation of COMPASS[J]. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2012, 55(12): 2 290-2 299

[3] Tang Chengpan, Hu Xiaogong, Zhou Shanshi, et al. Improvement of Orbit Determination Accuracy for BeiDou Navigation Satellite System with Two-

Way Satellite Time Frequency Transfer [J]. *Advances in Space Research*, 2016, 58(7): 1 390-1 400

[4] He Feng, Zhou Shanshi, Hu Xiaogong, et al. Satellite-Station Time Synchronization Information Based Real-Time Orbit Error Monitoring and Correction of Navigation Satellite in BeiDou System[J]. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2014, 57(7): 1 395-1 403

[5] Yang Yuanxi, Li Jinlong, Xu Junyi, et al. Contribution of the COMPASS Satellite Navigation System to Global PNT Users[J]. *Science Bulletin*, 2011, 56(26): 2 813-2 819

[6] Wu Xiaoli, Zhou Jianhua, Wang Gang, et al. Multipath Error Detection and Correction for GEO/IGSO Satellites [J]. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2012, 55(7): 1 297-1 306

[7] Cao Yueling, Hu Xiaogong, Wu Bin, et al. The Wide-Area Difference System for the Regional Satellite Navigation System of COMPASS[J]. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2012, 55(7): 1 307-1 315

[8] Chen Junping, Zhang Yize, Yang Sainan, et al. A New Approach for Satellite Based GNSS Augmentation System: From Sub-meter to Better than 0. 2 Meter Era[C]. Proceedings of the ION 2015 Pacific PNT Meeting, Honolulu, Hawaii, 2015

[9] Li Haojun, Zhu Weidong. Inter Frequency Clock Bias of BeiDou[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2014, 43(11): 1 127-1 131(李浩军,朱卫东. 北斗导航系统卫星频间钟差偏差[J]. 测绘学报, 2014, 43(11): 1 127-1 131)

[10] China Satellite Navigation Office. BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document Open Service Signal (Version 2.) [OL]. <http://www.wendangku.net/doc/oobc206125c52cc58bd6becf.html>, 2013

- [11] Wu Xiaoli, Hu Xiaogong, Wang Gang, et al. Evaluation of COMPASS Ionospheric Model in GNSS Positioning[J]. *Advance in Space Research*, 2013, 51(6): 959-968
- [12] Wu Xiaoli, Zhou Jianhua, Tang Bo, et al. Evaluation of COMPASS Ionospheric Grid[J]. *GPS Solutions*, 2014, 18(4): 639-649
- [13] Gao Yang, Shen Xiaobing. A New Method of Carrier Phase Based Precise Point Positioning [J]. *Journal of Navigation*, 2002, 49(2): 109-116
- [14] Yang Yuanxi, Li Jinlong, Wang Aibing, et al. Preliminary Assessment of the Navigation and Positioning Performance of BeiDou Regional Navigation Satellite System[J]. *Science China-Earth Sciences*, 2014, 57(1): 144-152
- [15] Montenbruck O, Steigenberger P, Khachikyan R, et al. IGS-MGEX: Preparing the Ground for the Multi-Constellation GNSS Science[C]. 4th International Colloquium on Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo System, Prague, CZ, 2013
- [16] Deng Zhiguo, Mathias F, Uhlemann M, et al. Re-processing of GFZ Multi-GNSS Product GBM[C]. IGS workshop, Sydney, Australia, 2016

Analysis of PPP Performance Based on BDS Comprehensive Zone Corrections

ZHANG Yize^{1,2,3} CHEN Junping^{1,2,4} YANG Sainan¹ CHEN Qian^{1,2,4}

1 Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China

2 Shanghai Key Laboratory of Space Navigation and Positioning Techniques, Shanghai 200030, China

3 College of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China

4 Chinese University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Comprehensive zone correction is a new type of differential corrections for BeiDou wide area augmentation system. As broadcasted together with the equivalent satellite clock and orbit corrections by BDS satellites, they enable user decimeter-level real-time positioning capability using the carrier-phase observations. In this paper, we give a brief introduction of comprehensive zone corrections, and the function model of precise point positioning (PPP) for dual-and single-frequency users using the comprehensive zone corrections. Tracking data of 30 stations in mainland China are used to evaluate the PPP performance, including convergence time, positioning accuracy and its relation with the user's distance from the zone center. Results show that the dual-frequency PPP convergences to 0.5 m in 25 minutes and the positioning accuracy are 0.15 m in horizontal and 0.2 m in vertical, respectively. As for single frequency PPP, the positioning accuracy convergences to 0.8 m in 20 minutes, while the positioning accuracy is 0.3 m in horizontal and 0.5 m in vertical. We conclude that the BDS PPP accuracy using the broadcasted wide area differential corrections reaches decimeter level within the distance of 1 000 km around zone center, and the accuracy becomes slightly worse with the user's distance from the zone center increasing.

Key words: BDS; comprehensive zone correction; equivalent satellite clock; orbit correction; convergence time; precise point positioning

First author: ZHANG Yize, PhD, specializes in the GNSS precise positioning and GNSS augmentation. E-mail: zhyize@163.com

Corresponding author: CHEN Junping, PhD, professor. E-mail: junping@shao.ac.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 11403112, 11673050; the Opening Project of Shanghai Key Laboratory of Space Navigation and Positioning Techniques, No. KFKT_201706.