

文章编号: 2095-4980(2019)02-0209-07

基于低轨通信星座的全球导航增强系统

沈大海^{1,2}, 蒙艳松^{1,2}, 边朗^{*2}, 雷文英², 王瑛², 严涛², 谢军³

(1.北京理工大学 信息与电子学院, 北京 100081; 2.空间电子信息技术研究院, 陕西 西安 710100;
3.北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 针对我国难以全球建站实现全球连续监测, 以及当前全球卫星导航系统(GNSS)精密定位收敛速度慢的难题, 提出一种基于低轨全球通信星座的全球导航增强系统。该系统不需独立建设, 可与低轨通信星座融合发展。低轨卫星既可作为“天基监测站”, 又可作为“导航信息源”。结合正在发展的低轨鸿雁全球通信系统进行仿真分析, 作为“天基监测站”时, 通过配置高精度GNSS接收机, 采用“地面区域监测网+天基全球监测网”的观测体制, 实现中高轨导航卫星与低轨通信卫星的联合精密定轨与钟差确定; 作为“导航信息源”时, 可降低几何精度因子(GDOP)值和缩短精密单点定位首次收敛时间, 相比只利用北斗单系统, 在收敛时间方面具有显著优势, 收敛时间从30 min缩短到5 min以内。

关键词: 导航增强; 低轨星座; 鸿雁系统

中图分类号: TN967.1

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201902.0209

A global navigation augmentation system based on LEO communication constellation

SHEN Dahai¹², MENG Yansong¹², BIAN Lang^{*2}, LEI Wenying², WANG Ying², YANG Tao², XIE Jun³

(1.School of Information and Electronic, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2.Academy of Space Information Systems, Xi'an Shaanxi 710100, China; 3.Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: In view of the difficulty of BeiDou Navigation Satellite System(BDS) global continuous monitoring and the long convergence time of Global Navigation Satellite System(GNSS) precision positioning, a global navigation augmentation system based on Low Earth Orbit(LEO) communication constellation is proposed. The system can be developed together with the LEO communication system, and needn't build a new system. The LEO satellites can jointly determine the precise orbits and clock errors of GNSS satellites and LEO satellites with the data from the mounted high precision GNSS monitoring receiver and the ground based monitoring stations. When served as navigation information broadcasting sources, besides the precise orbit, precise clock error, and integrity augmentation information, an additional navigation augmentation signal is broadcasted to realize Global Precise Point Positioning(GPPP) with sub-meter level of positioning precision in dynamic mode and sub-decimeter level of precision in static mode. The convergence time of precise point positioning is cut from 30 min(using a GNSS system alone) to less than 5 min(using a GNSS system together with the LEO global navigation augmentation system).

Keywords: navigation augmentation; low orbit constellation; Hongyan system

全球卫星导航系统(GNSS)可向全球用户提供全天候、连续不间断的导航服务, 在交通、农业、电力以及军事等应用领域发挥巨大的作用^[1-2]。随着技术的发展和社会的进步, 不同行业用户对 GNSS 服务性能的需求不同, GNSS 本身提供的基本导航服务已不能满足大多数高端行业用户的需求。针对 GNSS 基本导航服务能力的不足,

收稿日期: 2018-09-30; 修回日期: 2018-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11803023; 61627817)

*通信作者: 边朗 email:bianl35@163.com

美国、欧盟、俄罗斯及中国等均建设了覆盖本国及周边地区的星基增强系统(Satellite Based Augmentation System, SBAS),对导航精确度、完好性等服务性能进行增强,如广域增强系统(Wide Area Augmentation System, WAAS)、欧洲地球静止导航重叠服务、差分校正和监测系统站、北斗区域增强系统等,可达到米级~分米级的导航定位精确度、I类精密进近完好性服务能力^[3-4]。

SBAS 卫星目前均在地球同步轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO),与中高轨卫星(Medium Earth Orbit, MEO)的导航卫星相似,卫星轨道高,落地功率低,具有天然的脆弱性,即信号弱,穿透力差,易受干扰,并且高精度定位需要较长的收敛时间;地基增强系统(Ground Based Augmentation Systems, GBAS)虽然可以实现较高的精确度与完好性服务性能,但其服务区域受地基网络覆盖的限制。低轨卫星具有轨道低的天然优势,相同的发射功率情况下用户可获取更高的信号电平,增强了用户在复杂环境下的导航可用性,组网后可实现全球无缝覆盖。

近年来,小卫星及微小卫星技术蓬勃发展,可以预见,未来 5~10 年内将有数百颗小卫星发射升空,为提高应用效益,综合化卫星系统是小卫星的一个重要发展趋势,尤其是商业化运营的卫星系统。因此,如能利用通信、遥感等小卫星进行适当改造,并利用已有的信道资源,播发导航信号及导航增强信息,并与 GNSS 系统融合,将极大改善目前 GNSS 系统自身的“脆弱性”^[4]。2009 年前后,美国波音公司和斯坦福大学等机构在海军实验室的资助下开展了高完好性 GPS(iGPS)项目的研究^[5-6],提出利用下一代铱星高功率通信信道播发导航增强信息,用户通过接收铱星播发的导航增强信息,实现对 GPS 系统的可用性、精确度、完好性等服务性能增强,实现比 SBAS 性能更优的增强服务。

鸿雁系统是中国航天科技集团公司提出的一个通信星座,可为用户提供全球实时数据通信和综合信息服务。本文根据鸿雁系统的特点,充分挖掘鸿雁低轨星座在导航定位应用中的潜力,结合我国国家定位导航授时(Positioning, Navigation and Timing, PNT)体系建设需求,提出一种基于鸿雁系统的天基低轨全球导航增强系统方案。作为“天基监测站”,通过在低轨鸿雁卫星上配置高精度 GNSS 监测接收机,采用“地面区域监测网+天基全球监测网”的观测体制,实现中高轨导航卫星与低轨通信卫星的联合精密定轨与钟差确定,解决我国海外建站的不足;作为“导航信息源”,通过播发精密轨道、精密钟差、完好性信息以及导航增强信号,实现全球动态分米级、静态厘米级精密单点定位(GPPP),收敛时间从 30 min 左右缩短到 5 min 以内。

1 天基低轨全球导航增强系统方案

1.1 系统组成与业务流程

鸿雁全球导航增强系统由空间段、地面段及用户段组成。空间段主要包括 GNSS 系统和鸿雁卫星星座;地面系统主要由监测站、中心处理站、信息传输与分发网络组成;用户段为联合接收导航卫星及鸿雁卫星进行定位的用户接收机。

系统工作原理与流程:鸿雁卫星通过配置高精度 GNSS 监测接收机,生成驯服到 GNSS 系统的时频基准信号(10 MHz 和 1PPS),卫星通信载荷基于该时频信号产生测量通信一体化信号向用户播发。同时,监测接收机观测数据通过星间链路下传到境内中心处理站,中心处理站利用地面监测站联合鸿雁卫星移动监测站观测数据生成精密星历,通过馈电链路和星间链路上传至卫星,然后通过用户通信链路广播。用户通过接收卫星通信链路播发的测量通信一体化实现精密星历的获取,实现全球精密单点定位。

1.2 低轨全球导航增强技术体制与预期效果

GNSS 系统和低轨鸿雁星座构成了一个高一中一低混合导航系统体系架构,鸿雁卫星向全球用户播发精密星历及测距信号,实现对 GNSS 系统全球导航增强与系统备份。采用的技术体制和预期达到的效果如下:

1) GNSS 精密轨道与时钟确定:综合区域地面监测站和低轨卫星监测数据进行高中低联合精密轨道与钟差确定,实现导航卫星厘米级轨道与钟差精确度;

2) 用户精确度增强:用户接收鸿雁卫星通信链路播发的精密星历与钟差等参数,并对导航卫星和鸿雁卫星联合载波相位测量,实现全球精密单点定位(GPPP),定位精确度动态分米级、静态厘米级,收敛时间从 3 min~

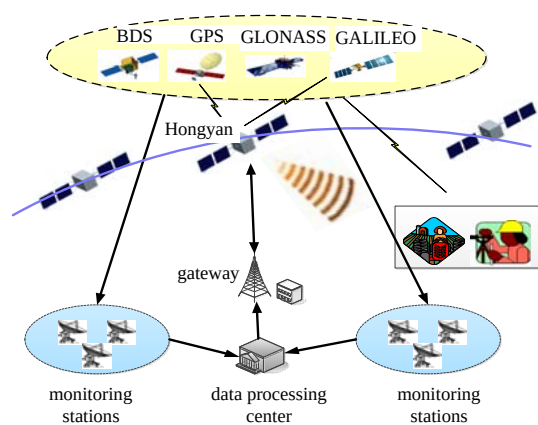


Fig.1 Diagram of space-based global navigation augmentation system
图 1 天基全球导航增强系统原理框图

1 h 缩短到 5 min 以内;

3) 可用性增强:采用 A-GNSS 体制,辅助用户快速定位,利用播发的导航卫星星历信息辅助用户实施抗干扰。

2 鸿雁星座对 GNSS 系统的增强性能分析

2.1 高中低联合精密轨道与钟差确定性能分析

鸿雁卫星作为“天基监测站”可以有效弥补我国海外站不足的缺陷,通过在卫星上配置高精度监测接收机,联合境内站形成天地一体监测体系。监测内选择国际全球连续监测评估系统(iGMAS)已有的国内站点,国内目前包括 8 个站,分别位于北京、上海、武汉、昆明、西安、拉萨、长春和乌鲁木齐,iGMAS 的站点分布如图 2 所示。

高中低联合定轨与钟差确定是一个复杂且庞大的数据实时管理、处理与分发系统。所有运行处理将基于云平台来进行,充分利用高中低轨、时间钟差的时变特性,利用分布式、多进程和先进的并行算法相结合的方式,实时获取短时预报的用户测距误差(User Range Error, URE)达 cm 级 GNSS 卫星和低轨卫星的精密星历和钟差参数,并通过低轨卫星星座播发给地面用户。系统的工作流程如下所示:

- 1) 所有地面测站和低轨卫星的星载 GNSS 数据采用单站的实时分布式预处理和质量控制;
- 2) 地面数据处理系统通过实时数据流实时接收地面站监测数据;
- 3) 低轨导航卫星之间通过星间链路设备实时传输低轨卫星 GNSS 监测接收机对中高轨导航卫星的观测数据,低轨卫星地面数传站通过可视低轨导航卫星实时接收低轨导航星座的观测数据,通过低轨用户中心将数据实时发送至地面数据处理系统数据管理模块;
- 4) 干净的数据汇总后,进行 24 h 弧段的中高轨道导航卫星和低轨卫星联合精密定轨。这个精密定轨流程为每小时更新,导航卫星轨道预报 1~2 h。由于导航卫星轨道高,预报 1~2 h,基本没有精度损失;
- 5) 在精密卫星轨道(部分为预报轨道)的约束条件下,利用实时数据开展卫星钟差确定。

在仿真过程中,用 BDS 星座(5GEO+3GEO 和 27MEO)与鸿雁星座相结合进行仿真:监测站选取国内 8 个站,国内 8 个站分别联合 3 个、10 个和 20 个 LEO 卫星 4 种配置,对仿真结果进行比较。

上述 4 种配置方案均使用 3 天解,相邻 2 个弧段之间存在 2 天重叠部分,仅比较中间的一天。图 3 给出了 4 种方案 GEO 和 MEO 卫星的定轨结果。图中 Ground 代表地面测站。

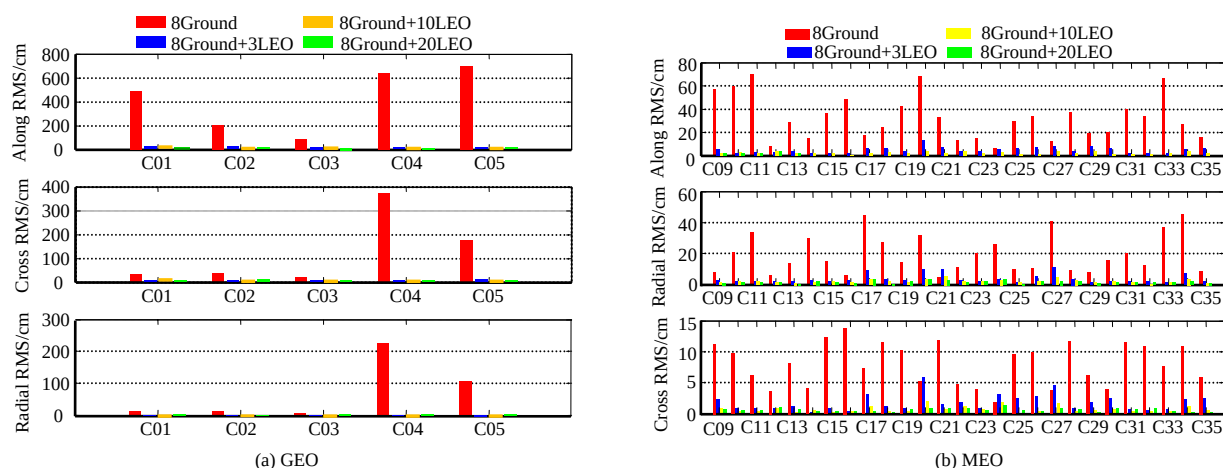


Fig.3 Results of orbit determination

图 3 定轨结果

从图中可以看出,仅用 8 个地面区域测站, GEO 卫星能够达到米级的定轨精确度。当加入 3 颗 LEO 之后, GEO 卫星得到了极大的改善,特别是 Along 方向,其 1D RMS 从 262.98 cm 降为 3.55 cm,轨道精确度提高了 98.7%。当 LEO 数量增加为 10 颗时, GEO 卫星的轨道精确度得到了进一步的提升,20 个地面测站与 10 个地面测站相比,对定轨的改善不明显。

对于 MEO 卫星,仅利用中国区域 8 个测站的定轨精确度为 24.28 cm(1D RMS),这是由于使用了中国区域测

站。相比于仅用地面测站的结果,当分别加入 3 颗、10 颗、20 颗 LEO 卫星之后,MEO 卫星的轨道精确度均得到了大幅度提升,分别提升了 84.8%、92.1%和 92.9%。

表 1 四种方案 BDS 卫星各方向重叠弧段平均 RMS(单位: cm)

Table1 Average RMS of the overlapping areas in each direction of the BDS satellite(unit:cm)

Sat.	direction	8Ground	8Ground+3LEO	8Ground+10LEO	8Ground+20LEO
GEO	Along	420.60	5.34	3.06	7.28
	Cross	129.26	2.58	2.44	2.70
	Radial	73.48	1.02	0.98	2.64
	1D	262.98	3.55	2.39	4.77
MEO	Along	33.71	4.67	2.13	2.00
	Cross	18.89	3.79	2.28	1.98
	Radial	7.96	1.65	0.66	0.59
	1D	24.28	3.69	1.91	1.72

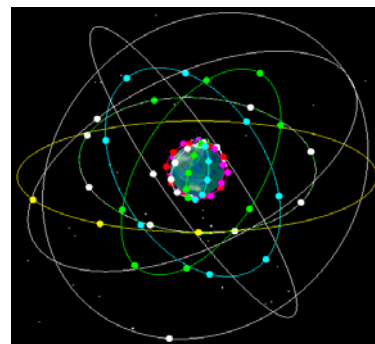


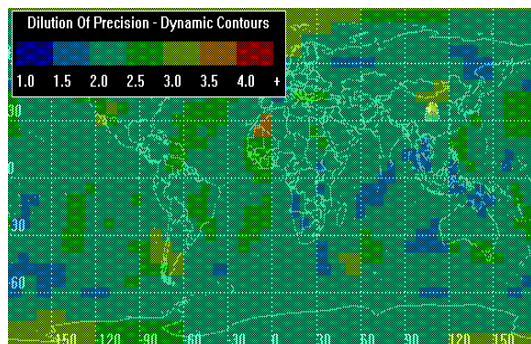
Fig.4 Integration of Hongyan and BDS

图 4 鸿雁星座与北斗星座构成的混合星座构型

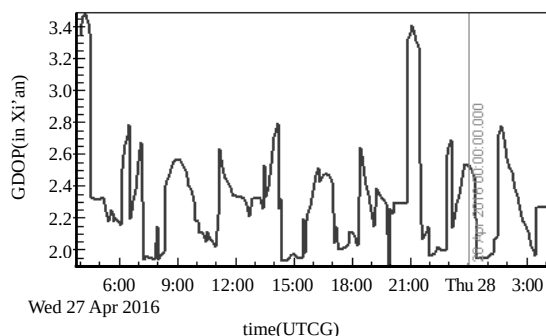
2.2 精确度因子值改进分析

鸿雁星座可用信号增强和信息增强 2 种途径实现对 GNSS 系统(以北斗系统为例)的性能增强。从用户定位的几何构形改进方面来讲,低轨鸿雁星座与高、中轨北斗星座构成高中低轨混合星座可改善全球的精确度因子(Dilution Of Precision, DOP)值分布,使得全球范围内用户定位精确度提升。鸿雁 60 颗星组成的星座与北斗 24MEO+3GEO+3IGSO 星座如图 4 所示。

理论上,在增加了鸿雁低轨星座的覆盖后,全球范围内北斗用户定位的 DOP 值将改善,从而提高用户定位的精确度。北斗星座的几何精确度因子(Geometric Dilution Of Precision, GDOP)值的全球分布如图 5(a)所示,西安地区 24 h GDOP 的变化如图 5(b)所示。从图 5 可看出,北斗星座全球的 GDOP 值不超过 4,两极地区的 GDOP 值较大,西安地区的 24 h 内的平均 GDOP 为 2.32。



(a) GDOP of global area

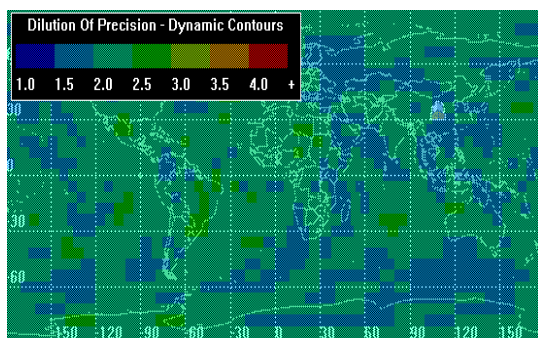


(b) GDOP of Xi'an in 24 h

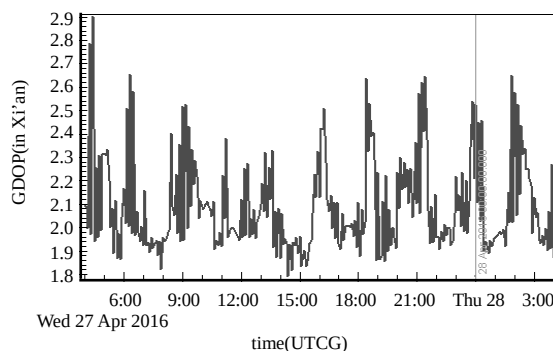
Fig.5 GDOP of BDS

图 5 北斗星座的 GDOP 值分布

鸿雁北斗混合星座的 GDOP 值的全球分布如图 6(a)所示,西安地区 24 h GDOP 的变化如图 6(b)所示。鸿雁与北斗混合星座全球的 GDOP 值整体上较北斗星座的 GDOP 值小,在两极地区 GDOP 值有明显改善,西安地区 24 h 内的平均 GDOP 下降为 2.09。鸿雁与北斗混合星座在西安一天内的平均 GDOP 相对于北斗星座下降了 9.9%。



(a) GDOP of global area



(b) GDOP of Xi'an in 24 h

Fig.6 GDOP of Hongyan and BDS

图 6 鸿雁北斗混合星座 GDOP 值分布

2.3 联合导航卫星和低轨鸿雁卫星实现精密单点定位性能分析

卫星导航用户可同时接收处理 GNSS 导航卫星与鸿雁低轨卫星播发的信号和数据, 可实现对自身的联合定位。低轨卫星加入导航解算最大的优势是其轨道几何变化快, 有利于精密单点定位快速收敛。本文采用非差无电离层组合的伪距和载波相位观测量进行精密单点定位分析与仿真。

无电离层组合的伪距和载波相位观测量分别可以表示为^[7-9]:

$$P_{r,LC}^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + T_r^s + c(B_r - B^s) + \varepsilon_p \quad (1)$$

$$\Phi_{r,LC}^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + T_r^s + c(B_r - B^s) + \tilde{N}_{r,LC}^s + d\Phi_{r,LC}^s + \varepsilon_\phi \quad (2)$$

式中: $\tilde{N}_{r,LC}^s = N_r^s + \beta_r - \beta^s$ 为包含卫星和接收机初相的载波相位实数模糊度, N_r^s 为吸收了接收机和卫星端整周偏差的整周模糊度, β_r 是接收机小数偏差部分, β^s 是卫星端小数偏差; $d\Phi_{r,LC}^s$ 包括卫星、接收机的相位中心偏差和相位中心变化改正、相位缠绕以及潮汐影响等。由于接收机硬件延迟 B_r 与接收机钟差 dt_r 不可分离, 其被接收机钟差吸收 $\delta t_r = dt_r - B_r$, 精密钟差产品(如 IGS 提供的精密钟差)中包含了卫星硬件延迟 B^s , $\delta t^s = dt^s - B^s$ 。

采用扩展卡尔曼滤波(Extended Kalman Filter, EKF)进行接收机的定位, 状态变量可表示为^[10-12]:

$$\mathbf{x} = (r_r^T, c\delta t_r, Z_r, G_{N,r}, G_{E,r}, \tilde{N}_{LC}^T)^T \quad (3)$$

式中: Z_r 是天顶对流层总延迟; $G_{N,r}, G_{E,r}$ 分别是其梯度的北、东分量; $\tilde{N}_{LC} = [\tilde{N}_{r,LC}^1, \tilde{N}_{r,LC}^2, \dots, \tilde{N}_{r,LC}^m]^T$ 是 m 颗可见卫星的载波相位实数模糊度。状态方程如下:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (4)$$

精密单点定位中接收机位置固定, 故 $\mathbf{A} = \mathbf{I}_{m+7}$ 为单位阵, $\mathbf{I}_n$ 表示 n 阶单位阵。 m 颗卫星中包括 GNSS 导航卫星和鸿雁卫星。量测方程为:

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{f}_T(\mathbf{x}_k) + \mathbf{d}_\phi + \mathbf{v}_k \quad (5)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -\mathbf{E}_r^s & \mathbf{I}_{m \times 1} & \mathbf{M}_T & \mathbf{I}_{m \times m} \\ -\mathbf{E}_r^s & \mathbf{I}_{m \times 1} & \mathbf{M}_T & \mathbf{0}_{m \times m} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: $\mathbf{y}_k = [\Phi_{r,LC}^T, P_{r,LC}^T]^T$ 是 $2m \times 1$ 的测量矢量; $\mathbf{E}_r^s$ 是 $m \times 3$ 的矩阵, 由接收机到 m 颗卫星的单位向量组成; $\mathbf{I}_{m \times 1}$ 是全 1 矩阵; $\mathbf{d}_\phi$ 是 $2m \times 1$ 的矢量, 代表式(2)中相位校正项 $d\Phi_{r,LC}^s$; $\mathbf{M}_T$ 描述天顶对流层总延迟 Z_r 与其北、东方向的梯度 $G_{N,r}, G_{E,r}$ 对对流层延迟的贡献, 其可表示为^[13]:

$$\mathbf{M}_T = \begin{bmatrix} m_w(El_r^1) & m_w(El_r^1) \cot El_r^1 \cos Az_r^1 & m_w(El_r^1) \cot El_r^1 \sin Az_r^1 \\ m_w(El_r^2) & m_w(El_r^2) \cot El_r^2 \cos Az_r^2 & m_w(El_r^2) \cot El_r^2 \sin Az_r^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m_w(El_r^m) & m_w(El_r^m) \cot El_r^m \cos Az_r^m & m_w(El_r^m) \cot El_r^m \sin Az_r^m \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: $m_w(\cdot)$ 是湿投影函数; El_r^i 和 Az_r^i 分别是第 i 颗卫星的仰角和方位角; $\mathbf{f}_T(\mathbf{x}_k)$ 表征的是对流层天顶干分量对对流层延迟的贡献:

$$\mathbf{f}_T(\mathbf{x}_k) = [m_H(El_r^1) - m_w(El_r^1), \dots, m_H(El_r^m) - m_w(El_r^m)]^T Z_{H,r} \quad (8)$$

式中: $m_H(\cdot)$ 是干投影函数; $Z_{H,r}$ 是天顶对流层延迟的干分量, 可通过式(9)计算获得^[14]:

$$Z_{H,r} = \frac{0.002\,276\,8P_0}{1 - 0.002\,66\cos 2\phi_0 - 2.8 \times 10^{-7}h_0} \quad (9)$$

式中: P_0 是接收机所在位置的大气压; ϕ_0 和 h_0 分别是接收机所在位置的纬度和海拔高度。

鸿雁低轨卫星和 GNSS 卫星联合精密单点定位仿真实验。接收机同时接收 GPS 和鸿雁卫星的信号, 通过上述无电离层模型, 采用 EKF 进行位置解算。仿真所用的精密星历数据为从 IGS 网站下载的澳大利亚 CUT2 站的数据, 时间为 2013 年 9 月 21 日, 仿真结果如图 7 所示。利用 GPS 单系统进行精密单点定位, 收敛到厘米级大约需要 30 min, 而联合 GPS 系统和鸿雁系统可有效地缩短精密单点定位收敛时间, 收敛时间大约为 5 min 以内。因此, 鸿雁系统播发的导航增强信号可有效地缩短精密单点定位的收敛时间, 利用全球星座可实现全球精密单点定位。

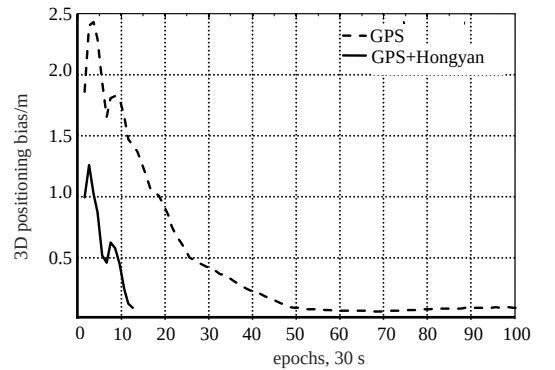


Fig.7 Position results of PPP based on Hongyan system
图 7 基于鸿雁卫星的精密单点定位仿真结果

3 结论

当前,低轨卫星的蓬勃发展为卫星导航增强注入了新的活力,低轨卫星具有空衰小、几何变化快的优势。本文提出基于鸿雁系统的天基低轨全球导航增强系统方案,低轨卫星既可作为“天基监测站”,解决北斗系统全球监测的问题,又可作为“导航信息源”,实现精密定位的快速收敛。本文对系统组成与业务流程、导航增强技术体制及预期效果进行了分析和仿真,仿真结果表明,基于低轨通信星座的全球导航增强系统可有效地对 GNSS 服务性能进行增强,加入少量的 LEO 卫星联合国内站即可实现 cm 级的定轨精确度,用户联合 GNSS 和鸿雁星座可实现全球精密单点定位。相比只利用 GNSS 系统,在收敛时间方面具有显著优势,收敛时间从 30 min 缩短到约 5 min 以内。该系统不需独立建设,可与低轨通信星座融合发展,低轨导航增强可广泛用于精细农业、智能交通、空中交管、军用导航对抗等与导航、位置相关的军民应用领域,具有广阔的应用前景。论文的研究成果为我国 PNT 体系、下一代卫星导航系统,以及低轨全球星座发展提供参考。

参考文献:

- [1] ZHAO Yu. Brief probe on application of compass navigation satellite system in the fields of sea,land and air[C]// Proceedings of 2017 2nd International Conference on Materials Science,Machinery and Energy Engineering. Dalian,China:[s.n.], 2017: 212-217.
- [2] ENGE P,WALTER T,PULLEN S,et al. Wide area augmentation of the Global Positioning System[J]. Proceedings of the IEEE, 1996,84(6):1063-1088.
- [3] SUNDLISAETER T,REID T,JOHNSON C D,et al. GNSS and SBAS system of systems:Considerations for applications in the arctic[C]// 63rd International Astronautical Congress. Naples,Italy:[s.n.], 2012:2139-2245.
- [4] REVNIVYKH S. GLONASS status and modernization[C]// Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. Nashville,Tennessee:[s.n.], 2012:538-552.
- [5] LI Xiaoyu,QIAO Yi,WANG T. Analysis on the integrity simulation of dual-frequency WAAS[C]// Proceedings of 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology,Electronic and Automation Control Conference. Chongqing,China:[s.n.], 2017: 375-380.
- [6] LI Ruidan,TANG Xiaomei,OU Gang. GNSS signal quality analysis technique based on chip measurement[C]// Proceedings of 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference. Chongqing,China:[s.n.], 2017: 1021-1025.
- [7] COOKMAN J,GUTT G,LAWRENCE D. Single chip receiver for GNSS and LEO constellations[C]// Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. Nashville,Tennessee:[s.n.], 2013: 2835-2839.
- [8] FOSSA C R,RAINES G A,GUNSCH G H,et al. An overview of the iridium Low Earth Orbit(LEO) satellite system[C]// Proceedings of the 1998 IEEE National Aerospace and Electronics Conference. Dayton,USA:IEEE, 1998:152-159.
- [9] ROVIRA-GARCIA A,JUAN J M,SANZ J,et al. Fast precise point positioning performance based on international GNSS real-time service data[C]// 2012 6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies & European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing. Noordwijk,Netherlands:IEEE, 2012:1-5.
- [10] KE M,LYU J,CHANG J,et al. Integrating GPS and LEO to accelerate convergence time of precise point positioning[C]// 2015 International Conference on Wireless Communications & Signal Processing(WCSP). Nanjing,China:IEEE, 2015:1-5.
- [11] HENKEL P,IAFRANCESCO M,SPERL A. Precise point positioning with multipath estimation[C]// 2016 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium. Savannah,GA,USA:IEEE, 2016:144-149.
- [12] XU C,RUI X,SONG X,et al. Generalized reliability measures of Kalman filtering for precise point positioning[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2013,24(4):699-705.
- [13] HENKEL P S. Tightly coupled precise point positioning and attitude determination[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2015,51(4):3182-3197.
- [14] SHI J,XU C,GUO J,et al. Real-time GPS precise point positioning based precepitable water vapor estimation for rainfall monitoring and forecasting[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015,53(6):3452-3459.

作者简介:



沈大海(1969-),男,陕西省渭南市人,博士,研究员,主要研究方向为卫星导航技术.
email:368229630@qq.com.

雷文英(1985-),男,西安市人,工程师,主要研究方向为导航、目标定位跟踪、阵列信号处理。

王 瑛(1985-),男,陕西省咸阳市人,高级工程师,主要研究方向为卫星导航信号生成与评估。

蒙艳松(1980-),男,内蒙古自治区赤峰市人,研究员,主要研究方向为卫星导航与星间链路技术。

边 朗(1985-),男,陕西省咸阳市人,高级工程师,主要研究方向为卫星导航增强技术。

严 涛(1987-),男,武汉市人,工程师,主要研究方向为卫星导航信号生成、性能评估。

谢 军(1959-),男,河北省束鹿县人,研究员,主要研究方向为卫星导航技术。

中国电子学会电路与系统分会“第三十届学术年会” 暨“首届电路与系统周”征文通知

中国电子学会电路与系统分会“第三十届学术年会”暨“首届电路与系统周”将于2019年10月18~22日在北京大学召开。会议由中国电子学会电路与系统分会主办,北京大学承办。首届电路与系统周会议主题包括电路与系统理论与技术、大规模集成电路设计与制造技术、神经网络、图论与系统优化、生物计算与生物信息处理、混沌与非线性电路等,设置特邀报告、主题报告和专题报告。我们诚征电路与系统及相关领域最新研究进展的学术论文(中英文均可)。会议征文内容及投稿如下:

一、征文范围

会议征文方向主要包括(但不限于)以下主题:

1. 电路与系统理论与技术
2. 大规模集成电路设计与制造技术
3. 图论与系统优化
4. 生物计算与生物信息处理
5. 混沌与非线性电路
6. 传感器、无线传感网和物联网
7. 信号与信息处理系统

二、征文要求

1. 投稿须是未曾在国内外公开发表过的文章,无弄虚作假,无一稿多投,不涉及国家秘密。
2. 投稿论文中英文均可。投稿首页请附作者信息页(包括题目、作者姓名、作者单位、摘要、关键词、正文、参考文献)。中文论文请包括英文题目、作者、作者单位、摘要和关键词;英文论文请附上中文题目、作者、作者单位、摘要和关键词。论文摘要应包括目的、方法、结果、结论四部分。
3. 会议论文格式请参照会议网站上的附件—《论文模板》。

三、论文提交

采用中科院国际会议服务平台 <http://cscas30.csp.escience.cn/>投稿。登录网站后请先注册,后投稿。也可以将论文发送到邮箱 cscas@mail.ie.ac.cn,注明电路与系统周论文投稿。

四、重要日期

论文投稿截止日期:2019年8月31日
论文录用通知日期:2019年9月20日
论文正稿提交日期:2019年10月8日

更多详情请登录网站: <http://www.iaeej.com>