

基于北斗/GPS 双模模块的高可靠定位系统设计

刘家龙¹, 吴柯锐², 张会新¹, 康长盛¹

1. 中北大学微纳器件与系统教育部重点实验室, 太原 030051

2. 中国人民解放军 93160 部队, 北京 100076



摘要 针对飞行器在飞行试验结束后部分重要结构的定位及可靠回收的问题, 设计了一种基于北斗/GPS 双模模块的高可靠定位系统。系统采用集成了 GPS/RNSS (Radio navigation satellite system) 模块和 RDSS (Radio determination satellite system) 模块的 BDM910 模块为核心的定位装置, 通过双链路及四天线互为冗余来接收北斗导航卫星系统 (Beidou navigation satellite system, BDS) 频点和 GPS 频点导航电文, 在捕获有效卫星导航信号的同时, 实时解算自身位置信息, 并将位置信息以北斗短报文形式实时发送给搜寻装置, 最终确定飞行器的落点坐标。该系统解决了在复杂环境下, 飞行试验中相关重要结构的定位回收问题。此定位系统有实时解析定位数据和定位装置通信信息的能力, 数据解析率小于 5 s, 定位精度在 10 m 以内, 通信成功率在 95% 以上, 系统持续工作时间 4 h 以上, 实现了高可靠定位。

关键词 北斗导航; 双模定位; 短报文通信; RDSS; RNSS

中图分类号: TN925.1 文献标识码: A

文章编号: 1006-3242(2024)04-0035-07

Design of Highly Reliable Positioning System Based on Beidou/GPS Dual Mode Module

LIU Jialong¹, WU Kerui², ZHANG Huixin¹, KANG Changsheng¹

1. Key Laboratory of Micro nano Devices and Systems, Ministry of Education, North University of China, North University of China, Taiyuan 030051, China

2. THE PLA Unit 93160, Beijing 100076, China

Abstract In order to solve the problem of positioning and reliable recovery of some important structures of aircraft after flight test, a highly reliable positioning system based on Beidou and GPS dual-mode module is designed. The system uses the BDM 910 module integrated with GPS/RNSS (Radio navigation satellite system) module and RDSS (Radio determination satellite system) module as the core positioning device is used in the system, and the BDS (Beidou navigation satellite system) frequency point and GPS frequency point navigation messages are received through dual links and four antennas redundancy. While effective satellite navigation signals are captured, the system own position information is resolved in real time. The location information is sent to the search device in real time in the form of Beidou short message, and the landing point

收稿日期: 2024-05-30

作者简介: 刘家龙 (2000 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为测试计量技术与仪器; 吴柯锐 (1980 -), 男, 工程师, 主要研究方向为航空武器系统工程; 张会新 (1980 -), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为抗过载存储技术及动态测试技术与仪器, 本文通讯作者; 康长盛 (1996 -), 男, 工程师, 主要研究方向为测试计量技术与仪器。

coordinates of the aircraft are finally determined. The problem of positioning and recovery of relevant important structures is solved in the flight test in a complex environment. The positioning system has the ability to analyze the positioning data and the communication information of the positioning device in real time, the data analysis rate is less than 5 s, the positioning accuracy is less than 10 m, the communication success rate is more than 95%, the system is continuously running and lasts more than 4 hours, and the positioning is highly reliable.

Key words Beidou navigation; Dual mode positioning; Short message communication; RDSS; RNSS

0 引 言

随着全球导航技术的进步,出现了地球上空和地面多个卫星导航系统共存的现象。这些系统的发展不仅带来了机遇,也带来了需要面对和解决的一系列挑战^[1]。随着我国在航天飞行器研发技术上的持续进步,各类飞行试验数据的价值日益凸显。因此,飞行器上所搭载的定位系统必须高效且可靠,确保箭/弹载存储器等关键飞行数据记录装置能够精准定位并成功回收^[2]。

文献[3-4]采用的单 GNSS 定位系统不可避免地存在着某些缺陷,在某些特殊条件下,如城市中的高楼林立,山林中沟谷深邃以及农村偏远地区和障碍物阻挡卫星信号等,均可导致可见卫星数量减少,进而影响定位和授时的准确性,造成性能下降和数据损失的风险增大;其次,即使采用了单一 GNSS,也需要接受权限限制,因此在某些情形下并不能保证数据的安全性。

针对以上情况,本文的设计将北斗二号与 GPS 相互融合,能够有效提高卫星可见数量,提高接收机正常工作的可靠性和定位、定速和授时精度。导航通信采用北斗系统自带的短报文方式,在没有明显干扰的情况下,静态通信接收和发射信号的通信成功率可以达到 95%^[5],能为用户提供更加稳定可靠的定位导航服务。

1 总体方案设计及原理

1.1 方案设计

本系统设备内含两组独立的北斗 RNSS (Radio navigation satellite system) 和 RDSS (Radio determination satellite system) 通信模块,可实现 RDSS 通信功能和 RNSS 导航定位等功能。定位装置需要配合地面 RDSS 短报文接收终端机进行定位数据接收,系统的构成如图 1 所示。定位装置及其天线被安装在飞

行器上,随着飞行器的移动同时定位。在飞行过程中,定位装置会持续记录并传输飞行器位置的每一次变化信息。通过定位装置天线接收北斗导航卫星系统(Beidou navigation satellite system, BDS) B1 频点和 GPS L1 频点导航电文,在有效捕获卫星导航信号的情况下,实时解算自身位置信息,并通过定位装置天线和 BDS 将位置信息以短报文形式实时发送给存储器搜寻装置,最终确定飞行试验中辅助获取的落点坐标。

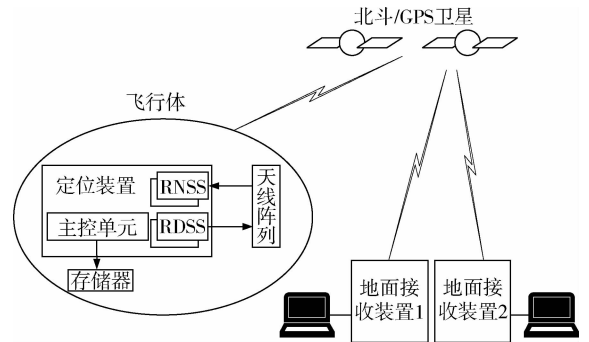


图 1 北斗通信链路系统组成

1.2 北斗/GPS 融合定位原理

北斗导航卫星系统 (BDS) 与全球定位系统 (GPS) 均采用基于到达时间 (TOA) 的定位技术。该技术的核心在于精确测量卫星信号从太空传输至用户接收机的耗时。随后,通过将信号传播速度(通常为光速)与传播时间相乘,计算出卫星与接收机之间的几何距离。最终,借助数学模型,通过联立求解方程组来确定接收机的位置坐标^[6]。在进行 BDS/GPS 定位时,关键在于确保两个全球导航卫星系统 (GNSS) 的坐标系和时间基准保持一致。这意味着需要将两个系统的坐标系统一,并对卫星信号的发射时间与接收机的接收时间进行同步,以实现 BDS 与 GPS 系统的数据融合。这种融合有助于提升定位的精确度和系统的整体性。BDS 与 GPS 卫星和接收机之间的伪距方程为

$$\begin{cases} \rho_{\text{BDS}}^{\text{G}} = \sqrt{(x - x_s^{\text{B}})^2 + (y - y_s^{\text{B}})^2 + (z - z_s^{\text{B}})^2} + c \cdot \delta t + c \cdot T_{\text{BC}} + n_p^{\text{B}} \\ \rho_{\text{GPS}}^{\text{G}} = \sqrt{(x - x_s^{\text{G}})^2 + (y - y_s^{\text{G}})^2 + (z - z_s^{\text{G}})^2} + c \cdot \delta t + n_p^{\text{G}} \end{cases} \quad (1)$$

BDS/GPS 双模定位就是要从观测的伪距和卫星位置中求解出式(1)中的待求的系统状态量为式。待求未知变量 X_1 是 5 个,需要至少 5 组卫星来解算。但 BDS 的时间基准转换到 GPS 时间基准中引入了两个时间系的系统时间误差 T_{BC} ,在同一坐标系中,待求未知变量 X_2 则只需要至少 4 组卫星就可以完成解算^[7]。

$$\begin{cases} X_1 = [X_u, Y_u, Z_u, \delta t, T_{\text{BC}}] \\ X_2 = [X_u, Y_u, Z_u, \delta t_u] \end{cases} \quad (2)$$

2 硬件设计

本文基于北斗二号设计的定位装置内部硬件结构如图 2 所示,定位装置集成了无线通信定位模块和电源模块等。无线通信定位模块包含 MCU 主控功能、北斗 RNSS 定位、RDSS 短报文、定位数据和 BIT 监测功能,还有数据存储器控制指令与数据通信模块,并采用双 MCU 冗余备份控制各通信模块的工作以及存储器通信、锂电池控制等来增强通信的可靠性;北斗模块的主要功能是在飞行过程中为飞行器提供定位服务,并将获取的位置数据传输给主控制器。主控制器对这些数据进行综合分析后,通过卫星通信,利用 A 和 B 两个短报文模块将分析结果传送至地面终端,实现信息的有效传输。电源模块由电池充电模块和锂电池组成,主要负责为整个设备提供电力供应。

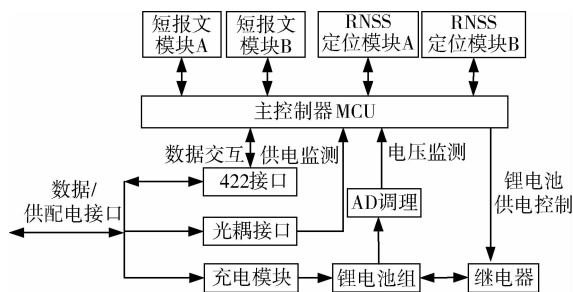


图 2 终端整体原理框图

定位装置通信包含一组与数据存储器的有线通信,两组独立的 GPS/RNSS 定位和 RDSS 短报文通讯,两个模块均具备独立完成定位和通信功能的能力。为了提高卫星信号的捕获率,在使用过程中会采用一组两个天线,共两组进行冗余备份,以确保信号获取的可靠性。这两组天线互相独立,指向

不同的方向,足以覆盖所有角度,为减小通信盲区、提供通信质量,系统采用两组 4 个无源天线来实现定位装置的对外通信。这种双通道设计在通信可靠性方面有很大优势,因为即使一个通道出现问题,另一个通道仍然可以继续正常工作,确保数据传输的稳定性和可靠性。布局上,A1 和 A2 天线相背安装,可以组成一个全向组合;B1 和 B2 天线相背安装,也可以组成一个全向组合,两组天线不会同时发射,所以不会造成频率干涉^[8]。

2.1 主控模块

为满足国产化、小型化和高可靠性的要求,本设计采用低功耗单片机 GD32F450VIT6 做主控制器采用高频分时复用模式,做到了小型化、低功耗和高可靠性;系统采用双 MCU 冗余备份,主要负责定位信息的接收、提取和编帧,发送的同时实现和存储器的通信、锂电池控制等。

2.2 北斗/GPS 双模模块

本文设计的双模定位模块采用 BDM910。该模块为北京北斗星通公司研发的整合了高性能的 RDSS 射频收发芯片、功率输出达 10 W 的功放模块、专用的北斗 RDSS 基带电路,以及一款国产的 BD2/GPS 的 B1L1 的支持北斗 RDSS/RNSS 功能的导航定位的小型化模块。通过这些组件,该模块可以实现 RDSS 定位、短报文通信功能和 RNSS 导航定位等多种功能^[9]。同时,这个模块在静态状态下的耗电量为 180 mA/5V(无 RDSS 发射),属于低功耗设备,有助于延长设备的工作时间并提高整体的能效表现。每个模块均与 1 张专用的北斗 SIM 卡相连,整个系统配置了两张这样的 SIM 卡。5 个关键引脚 IC_VCC、IC_SD、IC_SCLK、IC_SRSTN 和 GND 与 SIM 卡紧密连接。其中,IC_SD 和 IC_SCLK 分别作为 SIM 卡的数据线和时钟线,而 IC_VCC、VPP 和 GND 则负责为北斗模块提供电源。此外,IC_SRSTN 引脚用于 SIM 卡的复位操作。为了确保满足制造商对 VCC 和 VCCPA 电压峰间纹波不超过 100 mV 的严格要求,采用了一种有效的策略是在两个电压输入端分别安装 3 种不同容值的电容,以此减少纹波电压的影响。这种设计可以平滑电源输入,减少电压波动,从而保证定位模块的稳定运行和精确性。此外,该模块的高集成度和小体积优势使其在空间受限的应用中非常适用,低功耗特

性也有助于延长系统的续航时间。简单的外部接口以及与市场上常见模块的兼容性,使得这种定

位模块非常方便集成和使用。其外围电路如图 3 所示:

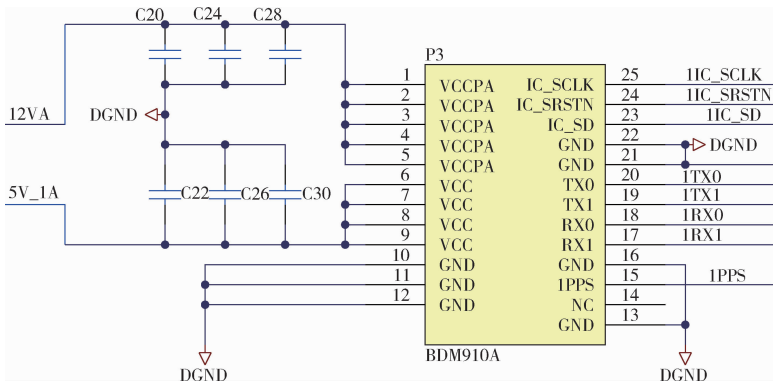


图 3 定位模块外围电路

2.3 电源模块

供电模块包含 DC/DC 电源变换、锂电池供电切换和锂电池充放电管理功能;外部提供最小 28 V/3 A 浮地供电,定位装置功率不大于 20 W,发射状态下瞬时功率不大于 60 W。外部向给定位装置 28 V 供电,分 3 路输出,一路接到 DC/DC 变换内部工作电压,另一路接到充放电管理模块给锂电池充电,最后一路进行外部供电监测。锂电池输出也接到 DC/DC 上,两路供电通过二极管隔离。定位装置使用的是上海行晨 18650 锂离子电池,它具有重量轻、容量大及无记忆效应等优点,输出 12 V,满

电 12.6 V,电池容量 6.8 Ah,自身放电截止电压 8.5 V,能够满足工作需要。考虑到工作时的器件压降损耗,当锂电池电压低于 10 V 时,系统工作不可靠,则需要为锂电池充电。充电芯片采用的是南芯半导体的 SC8906,它集成功率管,可通过调整外部电阻设置充电电流、电池电压和 NTC 等多项功能,外围电路简单。SC8906 充电电路如图 4 所示。综合定位装置的理论工作时间,根据实际产品测试,考虑到电池使用损耗,可以保证定位装置纯锂电池的工作时间大于 4 h。

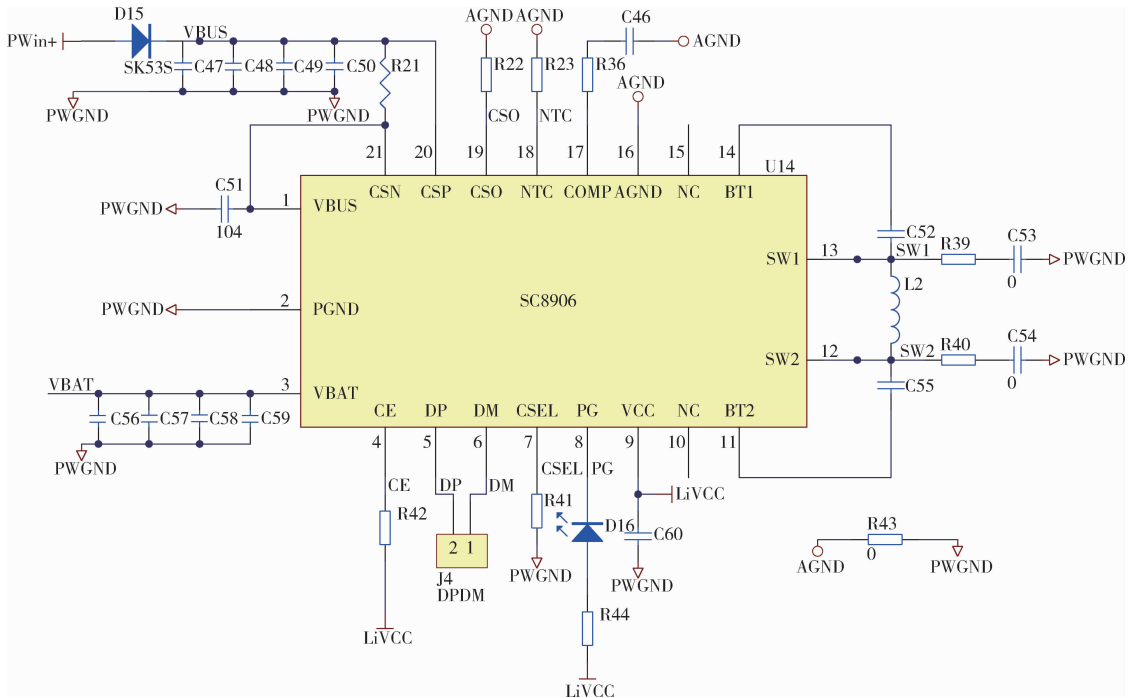


图 4 锂电池充电电路

2.4 地面接收装置

存储器搜寻装置采用北斗 RDSS 互补获取定位装置发送的存储器位置信息,从而快速定位,最终实现存储器快速和安全可靠回收。存储器搜寻装置的工作原理如图 5 所示。图中存储器搜寻装置包含两套北斗 RDSS 通信模块。3 种方式独立运行, RDSS 通信模块与天线一体, AC/DC 和 DC/DC 供配电模块,同时各类型两套装置分别可实现自检,在上位机分别对不同的模块进行实时数据解码和测试。

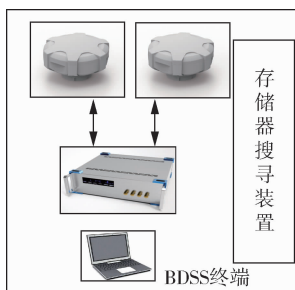


图 5 存储器搜寻装置

北斗 RDSS 通信装置选择 FB-CZ-01 通用型北斗二代短报文及北斗 GPS 定位通信终端。该终端采用了集成化设计,将收发天线、模块以及核心主板融为一体,同时整合了 RDSS 和 RNSS 天线、射频收发电路、功率放大电路以及基带处理电路。这种高度集成的设计不仅降低了功耗,还提高了设备的便携性^[10]。此外,该产品配备了专用的固定支架,使得安装和操作变得简便。

3 软件设计

3.1 系统工作流程

系统在飞行器的应用中,定位装置每秒更新一次位置信息(1 Hz 频率),并将这些信息实时发送给主控制器。主控制器接收到来自定位装置的位置信息后,结合其他系统信息,通过 A 和 B 两个短报文模块进行发送。使用双模块设计可以提高系统的冗余性和可靠性,即使其中一个模块发生故障,另一个仍能保证信息的传输,从而增强整个系统的稳定性。在这种情况下,主控制器通过给每个短报文模块的发送间隔增加 10 s,确保每个短报文的发送间隔至少为 70 s,以避免模块之间的信号冲突,确保数据传输的稳定性和可靠性,这样可以确保整个设备每隔 35 s 发送一次短报文,提高设备传送信息的机会和频率,降低因设备落地损坏而导致信息丢

失的风险。这样对于每个短报文模块而言,间隔时间约为 70 s,大于北斗卡 60 s 的限制,满足使用要求。具体流程如图 6 所示。

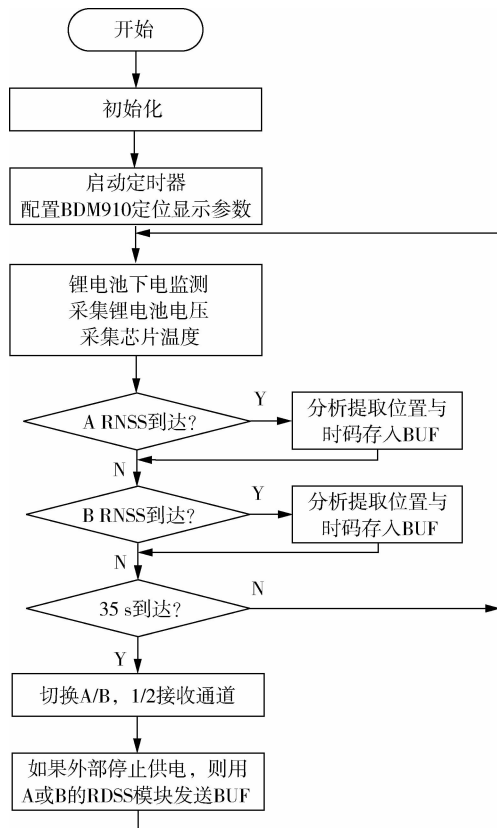


图 6 定位装置主控信息流程

3.2 定位信息处理

地面监测一切正常后,断开存储器搜寻装置面板的定位装置供电,启动短报文测试,等待地面软件通过地面接收天线获取短报文数据。按照协议检查监测数据对应的字节是否符合测试信号协议。帧头为“24 54 58 53 51”,帧尾为“AA 55”。定位装置的监测接口数据传输采用了 RS422 标准的异步串行通信接口,其通讯线路设计为双绞线并带有屏蔽层,以确保数据传输的稳定性和抗干扰能力。单片机获得定位信号后和其他的信号一起编帧,然后,再由 RDSS 系统以短报文的方式把定位信号发送到地面接收器。然后上传至 PC 端的上位机,再通过帧结构的分析最后显示定位对象的正确位置。

4 测试结果与分析

定位装置北斗测试通信卡号及接收终端北斗

卡号均在上位机中显示。上位机中所对应的“[H] 2021-11-08 09:53:17”时刻短报文信息包 \$TXXX\$ 帧结构及解析结果如下:报文信息包含 3 个时刻“09:53:15,09:53:08,09:53:03”的定位信息和设备 BIT 信息,有助于目标轨迹跟踪和设备动态监测。从 BIT 信息获知该时刻锂电池电压,定位装置 BG-A 和 BG-B 模块定位成功。选中“地图模式”软件自动将当前解析的目标位置信息实时通过 WGS84→BD09 II 坐标系转换生成百度地图目标搜寻导航信息。从测试结果分析,通信成功率大于 95%,信息更新频度平均为 5 s。

表 1 短报文通信结果分析

测试点	北纬/(°)	东经/(°)	高度/m
1	38.0015765	112.4423651	850.125
2	38.0198154	112.4512545	850.642
3	38.0153606	112.4445680	850.964
4	38.0012568	112.4482363	850.367
5	38.0109455	112.4512875	850.974

测试结果为在测试环境优秀的无建筑物遮挡干扰的晴天,使用计算机无间断接收系统持续几段静态测试返回的短报文信息。通过上位机软件对多次收到的短报文数据解析,并将其转换为浮点数以便进行观察。通过短报文通信结果分析,纬度误差和经度误差均在 0.0005° 以下,计算得出距离误差 ≤ 5.01 m;高度距离误差 ≤ 0.8 m。将分析结果与测试地实际地理坐标比较,系统定位的综合误差为 7.06 m,小于 10 m,达到了设计要求及预定目标。

5 结 论

提出了一种基于北斗/GPS 双模定位模块的定位系统设计。该系统通过构建多条冗余通信路径,显著增强了定位服务的可靠性。系统运用 RDSS 和 RNSS 技术,实时捕捉飞行器的经纬高度数据,这些数据在经过主控制器的处理后,通过卫星网络传输。地面设备和计算机接收这些数据,并将其转换为短报文格式进行处理,从而为搜寻团队提供精确的飞行器位置信息,便于实施有效的追踪和搜寻。系统在发送和接收环节均配置了双系统备份,实现了数据的双向传输。这种冗余设计不仅提升了定位的准确性,也保障了通信的连续性和稳定性。此外,该系统能够长时间稳定运行,其电源综合性能

稳定,能够适应严苛且复杂的飞行环境,具备广泛应用的潜力。

参 考 文 献

- [1] 刘宏艺,李晨,庞俊奇,等.基于 RDSS 和 RNSS 的北斗定位装置设计[J].电子器件,2022,45(1):205-208. (LIU Hongyi, LI Chen, PANG Junqi, et al. Design of Beidou positioning device based on RDSS and RNSS[J]. Electronic Devices, 2022, 45(1): 205-208.)
- [2] 勾朝君. BDS/GPS 组合精密单点定位方法研究与实现[D].北京:北京建筑大学. (GOU Chaojun. Research and implementation of BDS/GPS combined precision single point positioning method[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture.)
- [3] 艾奇,王向,武静,等.基于多天线的星间 GPS 高精度相对定位方法[J].航天控制,2018,36(2):65-69. (AI Qi, WANG Xiang, WU Jing, et al. A high-precision relative positioning method for inter satellite GPS based on multiple antennas [J]. Aerospace Control, 2018, 36(2): 65-69.)
- [4] 刘善武,李伟伟,计旭,等. GNSS 接收机在 FPGA 上的设计与实现[J].航天控制,2022,40(1):11-16. (LIU Shanwu, LI Weiwei, JI Xu, et al. Design and implementation of GNSS receiver on FPGA [J]. Aerospace Control, 2022, 40(1): 11-16.)
- [5] 曹睿星,庞俊奇,张会新,等. BDS/GPS 融合模块弹载定位系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2023,23(10):88-91. (CAO Ruixing, PANG Junqi, ZHANG Huixin, et al. Design of missile-borne positioning system for BDS/GPS fusion module [J]. Application of MCU and Embedded System, 2023, 23(10): 88-91.)
- [6] 郭竹森,张会新,刘宏艺,等.基于 RDSS 和 RNSS 的高精度定位系统设计[J].计算机测量与控制,2021,29(10):176-180+216. (GUO Zhusen, ZHANG Huixin, LIU Hongyi, et al. Design of high-precision positioning system based on RDSS and RNSS [J]. Computer Measurement and Control, 2021, 29(10): 176-180+216.)
- [7] 栗广才,吴江飞,刘卫华,等. GNSS 多星座组合导航系统性能提升量化分析[J].大地测量与地球动力学,2016,36(5):419-424. (LI Guangcai, WU Jiangfei, LIU Weihua, et al. Quantitative analysis of performance improvement of GNSS multi-constellation integrated navigation system [J]. Geodesy and Geodynamics, 2016, 36(5): 419-424.)
- [8] 叶小舟.北斗三号系统新质服务模式性能评估与优化[D].长沙:国防科技大学,2020. (YE Xiaozhou.

- Performance evaluation and optimization of new quality service mode of Beidou-3 system[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2020.)
- [9] 邹绪平,王相军. 北斗二代卫星导航系统定位优化仿真研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(6): 80-83 + 360. (ZOU Xuping, WANG Xiangjun. Simulation of Beidou second-generation satellite navigation system positioning optimization[J]. Computer Simulation, 2017, 34(6): 80-83 + 360.)
- [10] 张龙. 北斗/GPS 双模定位中的关键技术研究[D]. 西安:长安大学, 2016. (ZHANG Long. Research on key technologies in Beidou/GPS dual-mode positioning [D]. Xi' an: Chang' an University, 2016.)