

基于北斗导航的飞行器轨迹追踪装置

万晶莹¹, 龙家廷¹, 李建英¹, 梅玲玲², 彭家美¹

¹湖南文理学院, 湖南 常德

²湖南文理学院芙蓉学院, 湖南 常德

收稿日期: 2022年6月26日; 录用日期: 2022年7月20日; 发布日期: 2022年7月27日

摘要

本设计为一款基于北斗模块与4G通讯模组的飞行器轨迹追踪装置。本设计主要由北斗模块、4G通讯模块、以及控制主板、电池包组成。主控板通过与北斗模块进行串口通信, 接收到与定位有关的数据, 并使用了扩展卡尔曼滤波算法来提高系统定位精度。获取到定位数据后通过4G通信模块将解析完成后的定位数据发送到服务器端口, 从而生成飞行器当前实时的飞行轨迹及飞行状态数据, 实现对飞行器飞行状况的实时追踪。其中, 为了增加装置的可靠性, 本装置设置了4G信号强度实时监测, 在高空中4G信号微弱时, 系统将切换为北斗短报文通信方式继续向服务器端指挥机继续发送当前定位数据, 增强了通信的可靠性。与此同时, 为了解决北斗卡通信频度上限的问题, 本装置设计了四张北斗卡轮流切换发送报文的机制, 提高了通信频度, 确保了定位数据的连续性, 提升了本装置的通信性能。

关键词

北斗通信, 4G通信, 实时定位, 短报文通信, 通信频度

Aircraft Trajectory Tracking Device Based on Beidou Navigation

Jingying Wan¹, Jiating Long¹, Jianying Li¹, Lingling Mei², Jiamei Peng¹

¹Hunan University of Arts and Sciences, Changde Hunan

²Furong College, Hunan University of Arts and Sciences, Changde Hunan

Received: Jun. 26th, 2022; accepted: Jul. 20th, 2022; published: Jul. 27th, 2022

Abstract

This design is an aircraft trajectory tracking device based on Beidou module and 4G communication module. This design is mainly composed of Beidou module, 4G communication module, con-

文章引用: 万晶莹, 龙家廷, 李建英, 梅玲玲, 彭家美. 基于北斗导航的飞行器轨迹追踪装置[J]. 传感器技术与应用, 2022, 10(3): 473-481. DOI: 10.12677/jsta.2022.103058

trol motherboard and battery pack. The main control board receives the data related to positioning through serial communication with Beidou module. The extended Kalman filter algorithm is used to improve the positioning accuracy of the system. After obtaining the positioning data, the 4G communication module sends the parsed positioning data to the server port, so as to generate the current real-time flight trajectory and flight status data of the aircraft, and realize the real-time tracking of the flight status of the aircraft. Among them, in order to increase the reliability of the device, the device is equipped with real-time monitoring of 4G signal strength. When the 4G signal is weak at high altitude, the system will switch to Beidou short message communication mode and continue to send the current positioning data to the server-side command aircraft, which enhances the reliability of communication. At the same time, in order to solve the problem of the upper limit of the communication frequency of the Beidou card, the device designs a mechanism for four Beidou cards to switch and send messages in turn, which improves the communication frequency, ensures the continuity of the positioning data, and improves the communication performance of the device.

Keywords

Beidou Communication, 4G Communication, Real Time Positioning, Short Message Communication, Communication Frequency

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

北斗卫星导航系统是国家非常重要的信息基础设施，为在一些特殊领域和场合不受制于国外卫星系统，打破其在卫星定位上的制导能力，确保国家军事安全与社会经济稳定发展，我国开发了北斗卫星导航系统[1] [2]。随着我国北斗卫星导航系统的不断发展与成熟，北斗导航技术已应用于各行各业之中。北斗导航系统具有定位精确度高，靠干扰性能强等优势。随着云计算、物联网、移动互联网、大数据以及5G通讯技术等新一代信息技术的快速发展，搭载着北斗卫星导航与通讯功能的产品和服务已经广泛应用于社会发展的各领域，成为支撑国民经济发展的战略性新兴产业[3] [4]。

北斗导航产业作为我国战略性新兴产业，如今已在军民应用市场上得到广泛使用。从国防安全层面考虑，北斗导航定位通讯系统已经在国防、公共安全、能源、电力及金融等重要领域发挥着重要作用；就服务经济社会发展方面，其在交通、海洋、水文、气象、森林防火、通信、电力调度、防灾减灾等重要领域提供了相应的导航、定位、授时和短报文通信服务。从总体产值来看，按照国家卫星产业发展相关规划以及当前产业发展的实际情况，据不完全统计，2020年我国的卫星产业规模已达到了近4000亿元，其中北斗卫星导航产业规模已占到整个卫星导航产业的60%。北斗未来市场发挥空间巨大，尤其随着新一代信息技术特别是利用时空标志的信息技术不断创新，大力发展北斗卫星产业正在成为一项既利当前又利长远的重要举措[5] [6]。目前民用飞行器轨迹追踪装置，大都停留在单一的通信方式，且功能数据有限。据调查发现，使用单一的北斗短报文通信的轨迹追踪装置，其通信数据长度和通信频度，大大受到了北斗卫星本身的通信限制的影响，其功能会大打折扣[7] [8]。本文提出了将4G通信和北斗短报文通信相结合，基于我国广阔的4G网络铺设范围和北斗卫星愈加强大的通信功能，两者相互取长补短，使得飞行器的轨迹追踪更准确更可靠，也可进一步扩展该装置的单一的定位数据传输功能，使得飞行器控制中心能更好的得到其实时的飞行状态数据。

本文基于北斗导航定位系统和 4G 通讯系统设计了一套用于民用飞行器的飞行轨迹追踪装置, 系统可实现对飞行器全天候的飞行监控及信息通信, 可与服务器端进行信息交互, 能够有效解决民用飞行器无实时定位及轨迹追踪系统的难题, 大大降低了对飞行器做系统性航线规划与航线追踪的成本。

2. 基于北斗导航定位的系统框架

本装置系统总体设计框图如图 1 所示。北斗模块接收北斗导航卫星定位数据, 并传回至 MCU, 同时, MCU 芯片于加速度传感器及气压传感器通信, 获取当前飞行器速度及飞行高度, MCU 通过数据筛选与算法处理, 并按照通信协议将数据打包, 通过信号强度监测来判断是否使用短报文方式发送定位数据包, 如 4G 信号良好, 则数据包通过 4G 模块发送到基站后转到服务器解析数据, 解析完成后, 服务器会返回数据是否正确的响应包。如若 4G 信号不良, 则使用北斗短报文发送到通信卫星, 通过通信卫星中转数据包给指挥机后提供给服务器数据解析。

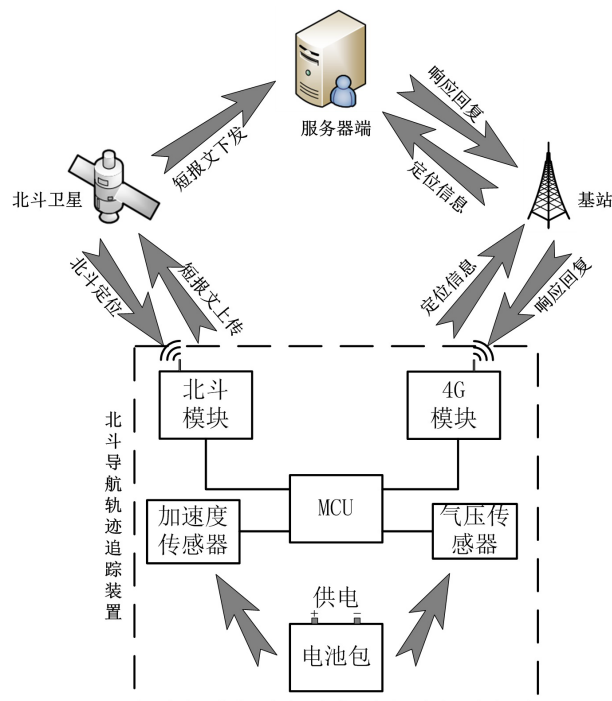


Figure 1. System overall framework diagram
图 1. 系统总体框架图

3. 硬件组成

本装置的硬件组成主要由控制主板, 北斗通信定位模块、4G 通信模块以及电池包组成。其中, 主控板 MCU 使用了 TI 公司的 MSP430FR5962IPMR, 该 IC 具有丰富的接口通信功能及强大的计算能力, 多达四个 eUSCI_A 串行通信端口, 支持多从设备寻址的 I2C, 具备 256 点高效复变快速傅立叶变换(FFT), 在此基础上拥有超低的功耗, 可有效满足本装置的数据处理及通信需求。主控板上附加了 3 个北斗卡槽, 通过主控芯片控制切换不同的北斗卡来增加北斗模块通信频度。

北斗通信模块使用的是 GNS1531 型北斗 RDSS 单模模块, 该模块内置 LNA, 可实现对 RDSS 卫星信号进行滤波, 低噪声放大, 用户无需外置 LNA, 可直接连接无源天线, 使用便捷; 除此以外, 上位机还可通过串口对 RDSS 功能进行软件版本升级; 其内置 5 W 功放模块, 无需外加 PA 即可进行卫星通信;

模块平均静态功耗 $\leq 150 \text{ mA}@3.7 \text{ V}$ ，功耗极低；其功能特点可较好满足该装置应用场景对于装置的简易性、可靠性和续航能力的要求。

4G 模块使用的是移远通信的 EC200U，其支持下行速率 10 Mbps 和上行速率 5 Mbps；在本装置中主要负责向服务器发送定位数据及接收服务器返回的响应返回包。

电池包使用了 O2Micro 的电池管理芯片和 6 节 2700 mA/3.7 V 的 18,650 电芯组成。电池包具有快充功能，内置了过压、过流、过温等多项检测和保护功能。

4. 软件架构及算法分析

4.1. 软件架构

本装置软件流程图如图 2 所示。系统初始化后每秒接收并处理一次北斗定位数据。与此同时开始连接服务器端口，连接成功后发送登录信息包注册设备信息，如连接失败，则重新初始化 4G 模块后再次尝试连接服务器端口，直到连接上服务器端口为止。在发送登录信息包后检测是否收到服务器端回复的响应数据包，否则将重复发送登录数据包，直到收到回复为止。之后将开始发送处理好的定位数据包，通过 4G 发送的数据包需检测服务器端是否有回复响应包，否则将从 0 开始计数，一旦计数到 15 次未返回响应包后，系统将切换到北斗短报文发送数据，同时检测 4G 信号是否良好，直到信号良好后再切换回 4G 通信，如此往复。通过不断的检测信号强度及监测服务器端的回复响应，来判断当前该执行哪一种通讯方式。

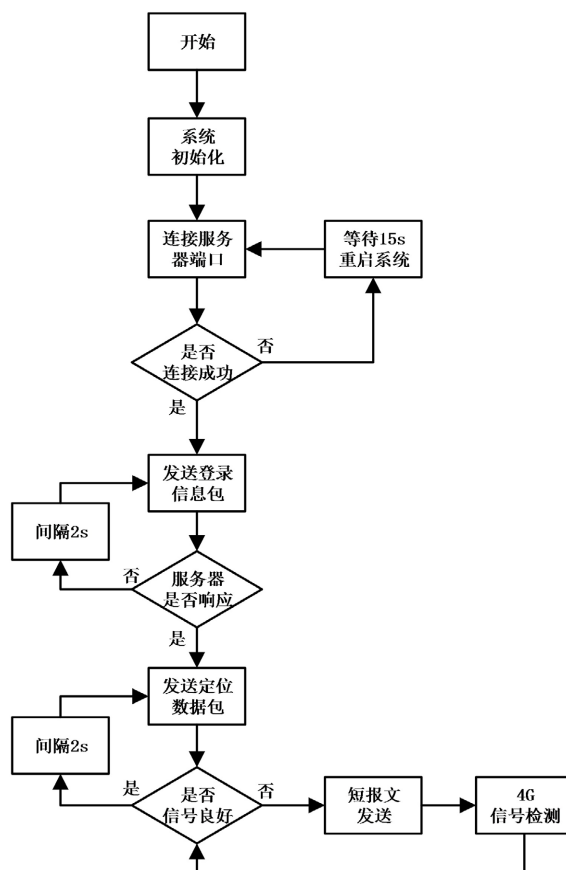


Figure 2. System software flow diagram
图 2. 系统软件流程图

4.2. 扩展卡尔曼滤波算法

由于北斗导航动态定位时, 存在北斗信号易丢失, 数据采集误差大, 定位精度不准等问题。在动态数据处理过程中采用扩展卡尔曼滤波提高定位精度和实时性[9]。

图3为基于卡尔曼滤波 BDS/INS 结构的基本框架。北斗定位系统和惯导系统的信息相融合后进行卡尔曼滤波算法处理。

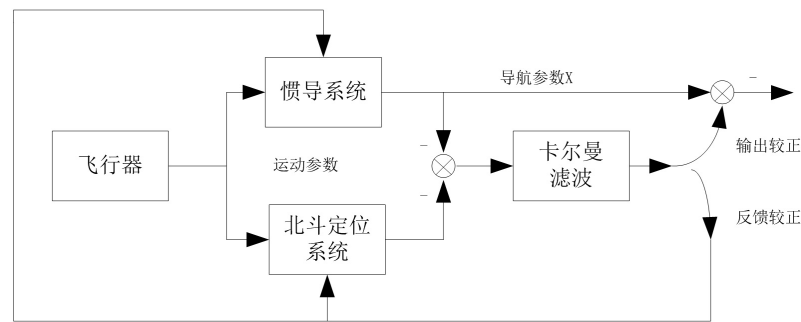


Figure 3. BDS/INS framework based on Kalman filter

图3. 基于卡尔曼滤波的 BDS/INS 结构框架

卡尔曼滤波算法需要对飞行器运动模型建模, 然后除去其中干扰信号, 得到理想飞行器运动模型。本文采取了间接滤波的方法, 它的本质是导航系统中各种误差的组合。它虽然不能直接反映出飞行器运行的运行状态, 但能使系统本身能充分发挥各个系统的特点, 特别是能将惯导系统(INS)具有较高输出更新频率的特点充分发挥出来。

扩展卡尔曼滤波的系统状态方程为:

$$Z_K = h(X_K) + V_K$$

对 $h(X_K)$ 进行线性化处理, 在 $\hat{X}_{K|K-1}$ 处进行泰勒级数展开。得到:

$$h(X_K) = h(\hat{X}_{K|K-1}) + \left. \frac{\partial h}{\partial X_K} \right|_{X_K = \hat{X}_{K|K-1}} (X_K - \hat{X}_{K|K-1}) + \Delta h$$

令 $H_K = \left. \frac{\partial h}{\partial X_K} \right|_{X_K = \hat{X}_{K|K-1}}$ 来表示的一次项系数, 而高于一次项的部分用 Δh 来表示。忽略高次项 Δh 时,

$h(X_K)$ 的线性化可以近似表示成:

$$h(X_K) = h(\hat{X}_{K|K-1}) + H_K (X_K - \hat{X}_{K|K-1}) = H_K X_K + h[\hat{X}_{K|K-1}] - H_K \hat{X}_{K|K-1}$$

结合状态方程表达式, 可以将观测方程表示为线性化形式:

$$Z_K = H_K X_K + h[\hat{X}_{K|K-1}] - H_K \hat{X}_{K|K-1} + V_K$$

代入卡尔曼滤波算法得:

$$\hat{X}_K = \hat{X}_{K|K-1} + K_g [Z_K - h(\hat{X}_{K|K-1})]$$

由此可得扩展卡尔曼算法的公式为:

$$P_{K|K} = (I - K_K H_K) P_{K|K-1}$$

5. 通信协议

本系统针对北斗短报文通信与 4G 通信设定了《GNSS 数据协议》，该协议主要通过定义统一的北斗定位数据格式来赋予其相应的数据意义，该协议可以有效的节省通信数据长度，使得单次通信所含数据信息量大大增加。同时我们还在《RDSS 北斗用户机接口协议》基础上融合进了该协议，使得短报文通信在符合短报文通信格式的基础上，其数据的解析与 4G 通信数据的解析具有统一性。

6. 实验测试

本文设计的飞行器轨迹追踪装置的实物如图 4 所示。主要由 4G 模块，4G 天线，北斗模块，北斗天线，以及主控制板组成。供电电源采用了 8 节 2700 mA/3.7 V 的 18,650 电芯，正常供电电压为 20~30 V。设计中使用的北斗卡为北斗用户机，通信频率为 60 S。

北斗模块通电后将有 5~8 S 的初始化时间，这段时间内北斗模块将寻找卫星信号，并获取卫星定位信息，在初始化时间过去后才能够最大程度获取到精确的定位信息。表现为电源灯亮起后立马熄灭，1~2 S 后立即亮起，而后状态灯、开机灯、注册灯开始闪烁，4G 模块状态不同所对应的灯的亮灭也不同。图 5 为北斗模块测试软件界面图。

在实际测试中，我们使用了汽车在一段包含高速公路、市区道路、乡野道路的路段来模拟飞行器的飞行轨迹，在一段道路上进行反复实验。数据表明，通过对比发送和接收到的数据个数以及接收时间，可得出该装置的数据发送成功率高达 96.2%。仅在北斗信号被建筑遮挡时出现部分数据发送失败，装置可靠性高。图 6 为服务器解析后的运行轨迹图。图 7 为部分定位数据。

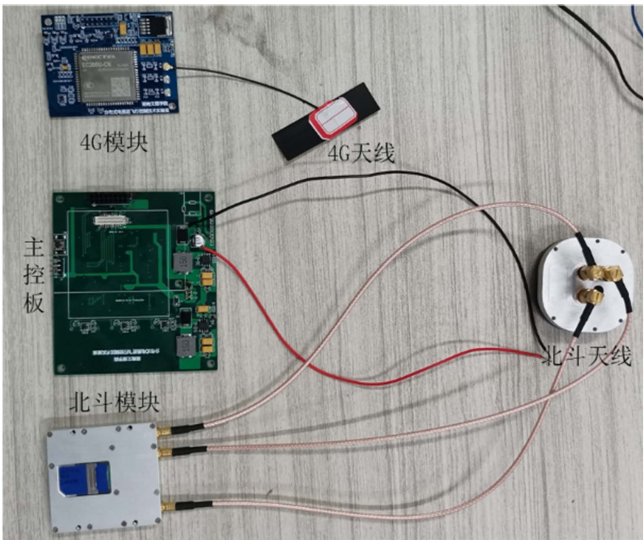


Figure 4. Physical drawing of the system
图 4. 系统实物图

通过以上数据可以预测，本装置综合通信成功率将大于 95%。在实际飞行器飞行过程中，低空飞行时北斗卫星信号受阻，4G 模块通信占主导地位，以 4G 模块向服务器发送定位数据为主，在海拔高达上升至一定值时移动 4G 信号将会变弱，但相对的北斗卫星信号会增加，从而将通信转变为北斗短报文通信，通过实时监测模块信号强度，智能切换两种通信方式，达到两种通信方式取长补短的目的，真正提高了本装置的通信成功率和实际可靠性。

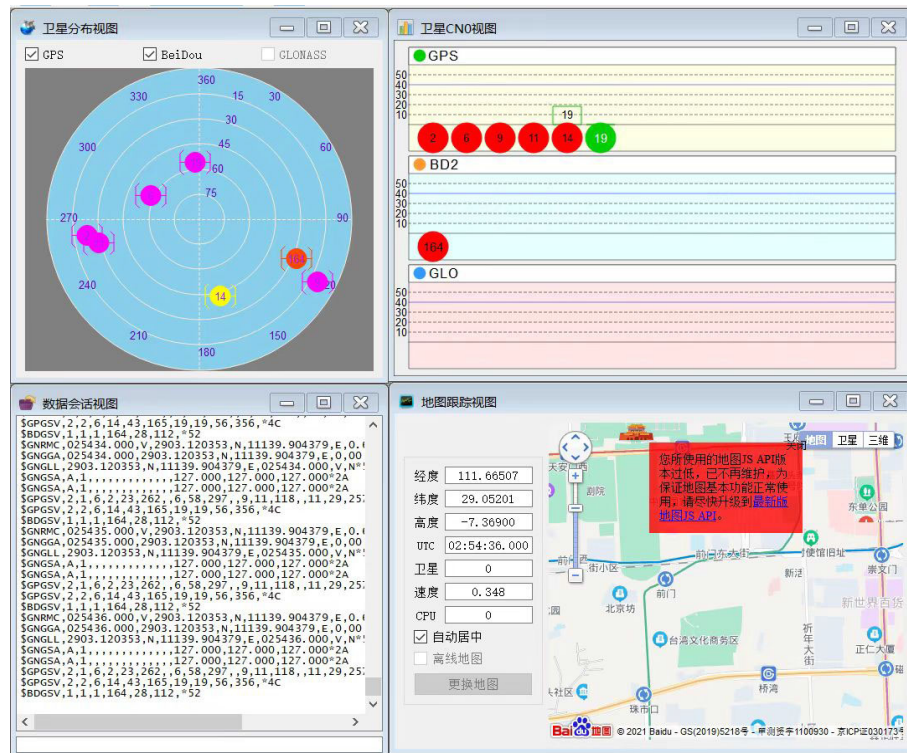


Figure 5. Test picture of Beidou module software

图 5. 北斗模块软件测试图

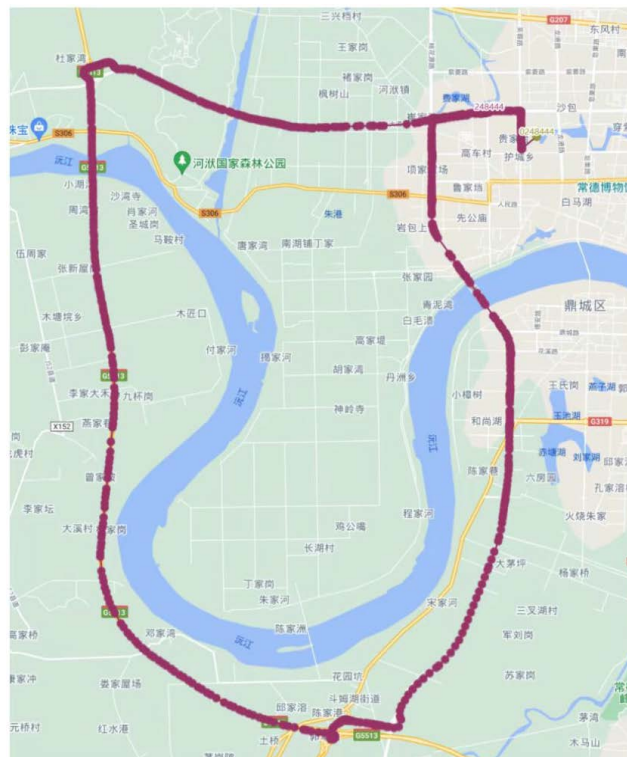


Figure 6. Trajectory diagram

图 6. 运行轨迹图

2) 轨迹数据^④

```

14:28:35 111.66525333333334 29.052235 H19 S0.00 G0④
14:28:35 111.66524333333334 29.05224333333333 H19 S0.00 G0④
14:28:35 111.66523666666667 29.05225333333333 H19 S0.00 G0④
14:28:35 111.665235 29.05225833333334 H20 S0.00 G0④
14:33:40 111.66401166666667 29.04927333333332 H15 S43.89 G270④
14:33:40 111.66229833333334 29.049295 H15 S6.85 G290④
14:33:40 111.66206166666667 29.04956166666666 H14 S26.85 G356④
14:33:40 111.66204 29.050875 H15 S45.93 G359④
14:34:40 111.66200333333333 29.05290666666665 H16 S48.89 G359④
14:34:40 111.66201166666667 29.054695 H17 S47.97 G0④
14:34:40 111.66200666666667 29.05615166666667 H17 S8.89 G0④
14:34:40 111.66200166666667 29.05628166666667 H17 S0.00 G359④
14:35:38 111.662 29.05640833333334 H16 S0.00 G358④
14:35:38 111.66199833333333 29.05658 H15 S8.89 G0④
14:35:38 111.66129833333333 29.056925 H15 S34.82 G269④
14:35:38 111.65883166666667 29.056945 H15 S63.89 G271④
14:36:38 111.65641333333333 29.05695666666668 H16 S43.89 G270④
14:36:38 111.65569666666667 29.05695333333333 H15 S0.93 G268④
14:36:38 111.65568333333333 29.056955 H15 S0.00 G268④
14:36:38 111.65567 29.056955 H15 S0.00 G268④
14:37:38 111.65559833333333 29.05695333333333 H15 S13.89 G270④

```

Figure 7. Partial trajectory data

图 7. 部分轨迹数据

7. 结论与分析

本文基于北斗导航定位系统和 4G 通讯系统设计了飞行器飞行轨迹追踪装置, 运用了北斗短报文通信和 4G 通信, 两种通信方式相互补充, 能够有效的将飞行器实时定位信息以及运行状态发送至服务器端, 以供其生成相应的飞行器运行轨迹图, 通过较为频繁的通信频度, 使得生成的轨迹图更接近飞行器的原始飞行轨迹。北斗导航定位模块, 在获取精确的定位数据的同时, 还能够提供北斗卫星短报文通信, 此种通信方式具有较好的保密性, 和较为广泛的通讯范围, 可弥补 4G 通讯网络在高空和野外信号不佳的缺陷。通过模拟场景实验, 可以看出, 该装置的可靠性能好, 具有米级定位精度, 通信成功率高达 96.2%, 能确保飞行器轨迹追踪的连续性和可靠性。此外, 该装置还具有不俗的续航能力, 电池充电时间短, 连续工作时长可达 20 小时以上。综上所述, 本装置设计具有良好的实用价值。

基金项目

湖南省自然科学基金资助项目(2020JJ6061); 2020 年度湖南省大学生创新创业训练计划项目资助(3263); 2021 年度湖南省大学生创新创业训练计划项目资助(4622); 2021 年湖南文理学院大学生创新创业训练项目资助(XDC2021076)。

参考文献

- [1] 钱文进, 张琳, 彭婧. 北斗卫星产业发展现状分析研究[J]. 科技经济导刊, 2021(24): 39-40+133.
- [2] 于素君, 易昌华, 李春芬, 陈传庚. 北斗卫星导航系统定位原理及其应用综述[J]. 物探装备, 2020, 30(1): 59-63.
- [3] 黄晨阳. 基于北斗卫星定位的算法研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连交通大学, 2018.
- [4] 张舒黎, 石元兵, 王雍. 北斗短报文通信安全研究[J]. 通信技术, 2019, 52(11): 2776-2780.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0802.2019.11.034>
- [5] 张全德, 范京生. 我国卫星导航定位技术应用及发展[J]. 导航定位学报, 2016, 4(3): 82-88.
<https://doi.org/10.16547/j.cnki.10-1096.20160317>
- [6] 匡雪峰. 北斗导航定位技术及其在电力系统中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(10): 140-141.

<https://doi.org/10.16525/j.cnki.14-1362/n.2021.10.053>

- [7] 姬生月, 孙嘉文, 宋云记, 王振杰, 贺凯飞, 鲁洋为. 基于北斗短报文的远海实时精密单点定位[J]. 国防科技大学学报, 2021, 43(6): 74-84.
- [8] 秦童, 赵忠海, 韩艳伟. 多种卫星系统下 GNSS 基线处理的精度分析[J]. 测绘通报, 2021(S1): 202-204.
<https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2021.0545>
- [9] 熊帅, 李平力, 张伟, 苏翠萍. 一种用于北斗卫星导航系统监测站的远程集中监控管理技术[J]. 现代导航, 2021, 12(5): 324-327.