

基于北斗卫星通信定位的战斗机队形 指挥控制系统设计

秦明峰

(1. 中国电子科技集团公司 第五十四研究所实验室, 石家庄 050081;

2. 卫星导航系统与装备技术 国家重点实验室, 石家庄 050081)

摘要: 目前设计的战斗机队形指挥控制系统数据匹配度低, 指挥性能较差; 为了解决上述问题, 基于北斗卫星通信定位设计了一种新的战斗机队形指挥控制系统, 对系统的硬件和软件进行优化设计; 硬件主要由定位器、指挥器、信号接收器和监控器组成, 选用 HD-38 型号的定位器, 提高定位精度, 采用 HD-72X 型号的指挥器, 增强系统的整体指挥模式, 同时在信号接收器上设置单频、双频、三频 3 个模式, 利用 UPS 续航电源对系统进行供电, 从而提高系统的储电能力; 通过控制战斗机的队形变换、队形保持以及队形控制来完成战斗机队形指挥控制; 实验结果表明, 基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统能够有效提高系统的数据匹配度, 提升战斗机队形指挥控制效率, 增强指挥性能。

关键词: 北斗卫星; 通信定位; 战斗机队形; 指挥控制; 控制系统

Design of Fighter Formation Command and Control System Based on Beidou Satellite Communication Positioning

QIN Mingfeng

(1. The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China;

2. State Key Laboratory of Navigation Satellite System and Equipment Technology, Shijiazhuang, Hebei 050081, China)

Abstract: The currently designed fighter formation command and control system has low data matching and poor command performance. In order to solve the above-mentioned problems, a new fighter formation command and control system was designed based on Beidou satellite communication and positioning, and the hardware and software of the system were optimized. hardware. It is mainly composed of a locator, a pilot, a signal receiver and a monitor. The HD-38 type locator is selected to improve the positioning accuracy. The HD-72X type pilot is used to enhance the overall command mode of the system. At the same time, the signal receiver three modes of single-frequency, dual-frequency, and three-frequency are set up on the device, and the UPS endurance power supply is used to supply power to the system, thereby improving the power storage capacity of the system. The command and control of the fighter formation is completed by controlling the formation transformation, formation maintenance and formation control of the fighters. Experimental results show that the fighter formation command and control system based on Beidou satellite communication positioning can effectively improve the data matching of the system, enhance the efficiency of fighter formation command and control, and enhance the command performance.

Keywords: beidou satellite; communication positioning; fighter formation; command and control; control system

0 引言

战斗机主要用于保护我国领土安全, 是我国的一种重要飞行武器, 目前战斗机的有效使用权限只限定在军用领域。战斗机具有较好的飞行性能和攻击性, 完成任务时通常用于团体协作, 战斗机的队形对于战斗机执行任务的完成效果十分重要, 在执行任务过程中, 战斗机排列的某一种队形不是随机而定的, 而是需要考虑战斗机工作的环境因素、任务难度因素、干扰因素等各个条件, 以保证战斗机之间信号传输的稳定性和队形位置的精准度, 设计的一种战斗机飞行队形^[1-2]。

为了确保战斗机在队形指挥控制过程中, 对战斗机的通信干扰能力最低, 为提高战斗机执行任务的攻击力以及工作效率, 本文进行基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统的研究设计, 以北斗卫星通信定位为辅助条件, 提高战斗机变换队形的效率。在完成系统设计后, 利用对比试验测试分析, 验证此系统的功能性, 实现本文预期的设计目的。

1 基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统硬件设计

本文设计的基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥

收稿日期: 2021-03-22; 修回日期: 2021-05-06。

作者简介: 秦明峰(1975-), 男, 河北石家庄人, 硕士, 高级工程师, 主要从事卫星导航定位技术, 通导融合技术方向的研究。

引用格式: 秦明峰. 基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(7): 161-165.

控制系统硬件主要由定位器、指挥器、信号接收器和监控器四部分组成，系统硬件结构如图 1 所示。

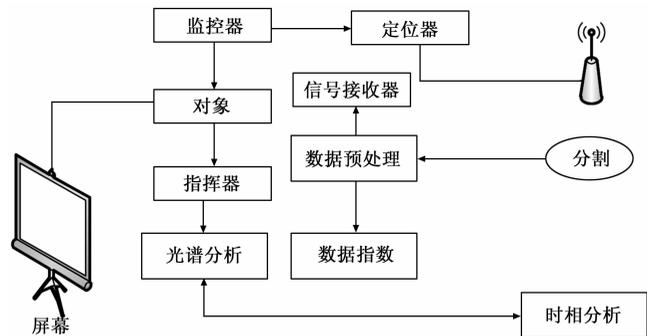


图 1 战斗机队形指挥控制系统硬件结构

战斗机队形指挥控制系统硬件结构主要由监控器、定位器、指挥器及信号接收器组成。通过定位器时刻确定战斗机的相对地理位置，并将位置信息传输至监控器，由指挥器下达战斗机队形变换指令，通过信号接收器实现战斗机之间和战斗机与总指挥之间的通信连接。

1.1 定位器

因为本文设计的战斗机队形指挥控制系统，为了提高系统的交互性，融入了北斗卫星通信定位技术，在系统硬件区域设计了定位器，此器件的设计目的是时刻确定战斗机的相对地理位置，并协助部署中心，发布最合理的战斗机队形指挥控制任务^[3-4]。定位器结构如图 2 所示。

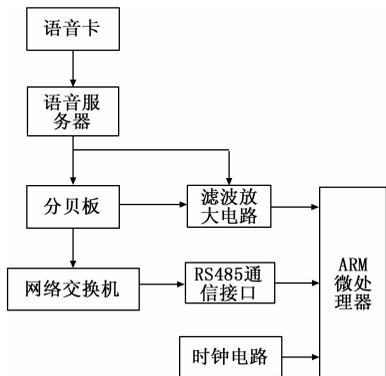


图 2 定位器结构图

为了使战斗机达到以上的功能，选用 HD-38 型号的定位器，此定位器的地理数据库与我国卫星定位数据库相同，数据信息充足，保证定位的精准度和定位效率。定位器与计算机端相连，器件采用塑封模式，防止器件风化，降低系统性能，定位器在战斗机位置确定过程中，集成 GPS 定位、北斗定位、LBS 定位以及 WIFI 定位技术，并且设置监控器，方便系统复盘工作。此定位器采用充电电池，电池容量为 6 000 MH，可以持续工作 100 天^[5-7]。HD-38 型号定位器电路图如图 3 所示。

1.2 指挥器

战斗机队形指挥控制系统硬件区域的指挥器的工作任务是执行指挥中心下达的战斗机队形变换指令，指挥器的

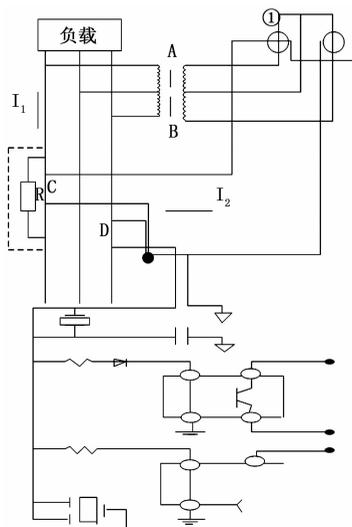


图 3 HD-38 型号定位器电路图

灵敏性尤为重要，影响到系统的工作效率，本文选择 HD-72X 型号的指挥器。HD-72X 型号指挥器结构图如图 4 所示。

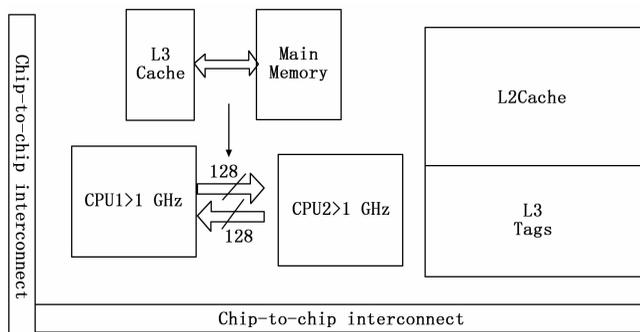


图 4 HD-72X 型号指挥器结构图

指挥器采用超大太阳能板资源的循环利用，完成工作，蓄电池为 12 V/20 AH，太阳能板的指标为 18 V/50 W，指挥器不是单独进行工作的，硬件区域的传感器共同协作，执行战斗机队形指挥指令，此器件的调节误差在 5% 范围内，支持 CSTA 或者 TSAPI 接口，采用 5 路数字用户接口板，另外器件的优点是在对任务进行了解后，如果任务在实际应用中不可实现，指挥器会立即将信息反馈到系统的控制中心，指挥器的频带范围为 80~1 500 Hz，可以完成 A-LAW、IMAADPCM 格式的信息编码和解码^[8-12]。

1.3 信号接收器

系统硬件区域信号接收器的工作任务是在战斗机队形指挥控制过程中，维持战斗机之间和战斗机与总指挥之间的通信，信号是通信领域不易受到干扰的一种传输介质，因此系统的通信采用信号完成^[13-15]。

信号接收器的外壳采用高密度防水防锈航空铝合金制作而成，具有自动待机降噪、节能功能，信号接收器具有 3 个模式，分别为单频、双频、三频。器件的最大增益为 92 ± 2 DB，工作电压为 220 V/AC，有效覆盖面积为 9 000 平

方米，信号可以 120°完成信号的全方位发射，器件内置 AGC 芯片，对其他频道的信号出现混淆，工作的输出功率为 17±5 dbm，频率为 B1/B2/B5/B8，4 种档位。信号接收器内部插入 PA 和 LNA，提高信号接收器的灵敏性。

1.4 监控器

监控器的工作主要是对战斗机队形指挥控制操作过程进行监控，一旦战斗机的队形变换行为与预期的执行指令不符合后，监控器将此行为的所有信息打包发送到总指挥处，并对行为检验复盘，短时间内降低战斗机队形变换的速度，检查无误后再调整为正常的速度^[16-18]。

监控器采用宝气无线 360°全景监控器，监控器可以完成录像回放、全彩夜视、侦测报警等功能，电池通过 UPS 续航电源进线充电，电池的供应为 DC 5 V±10%，监控器的屏幕设置为 5MP 高清画质，500 万像素，1 080 P 的画质，监控器摄像头采用 IP66 级材料，防水防电耐高温。监控器的影像帧率根据实际监控环境情况进行自适应调节，无线标准采用 IEEE802.11b，频率为 2.4 GHz，传输速率为 11 b: 1 mbps，监控器有效的红外线监控距离为 300 米。监控器电路图如图 5 所示。

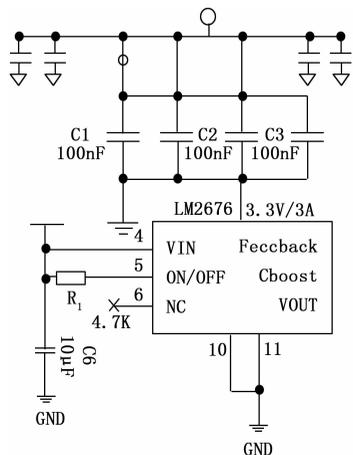


图 5 监控器电路图

2 基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统软件设计

在硬件结构基础上，设计战斗机队形指挥控制系统的软件部分。引入北斗卫星通信技术，通过集成主动式双向测距技术，完成对空间段、地面段和用户段三方的位置定位，解决问题。定位技术的原理是以定位物品为中心，向任意方位的两个卫星发送相对位置信号，卫星经过对发送信息处理以及数字高程值的查询，将北斗信号解码处理，计算出需要定位位置的经纬度坐标，然后通过服务器传回到用户端，完成定位操作。北斗卫星定位技术的定位精度可以达到 0.2 米/秒，授时精度为 10 纳秒，对于本文研究的战斗机队形指挥系统来说，可以实时掌握战斗机队形变换过程中每台战斗机的地理位置，提高队形指挥控制的交互性。

战斗机队形指挥控制主要的流程是控制战斗机的队形变换、队形保持以及队形控制，不同队形调度控制过程中需要考虑所有战斗机的位置，时刻保证战斗机之间的安全距离以及相对位置，防止战斗机出现飞行误差，为此战斗机在队形指挥控制过程中也采用专业的运动行为进行整体队形的指挥，完成控制任务^[19-21]。对于专业的运行行为考虑到战斗机的飞行质量、地势的变化、不考虑地球自转和大气扰动带来的影响，首先建立一个三维立体的坐标系，将战斗机的飞行运行涵括在内，战斗机的运动方程如下所示：

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V \cos \theta \cos \varphi_v \\ \frac{dy}{dt} &= V \sin \theta \\ \frac{dz}{dt} &= -V \cos \theta \cos \varphi_v \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中： x 、 y 、 z 表示战斗机的位置变量； V 表示速度； φ_v 表示战斗机队形变换飞行的偏转角； θ 表示战斗机队形变换飞行的倾斜角。

根据队伍内战斗机的数量、地理位置和任务要求，考虑到战斗机的飞行动力矩阵和内部关系，得到战斗机指挥运动过载计算公式如下所示：

$$\frac{dv}{dt} = g(n_x - \sin \gamma) - \frac{\Delta F_d}{m} \quad (2)$$

其中： n_x 表示战斗机队形变换过程中的运动分量； ΔF_d 表示队形变换过程中的侧力； m 表示战斗机的质量； γ 表示滚角；

根据上述对战斗机飞行模型和运动载力的分析，构建 n 个战斗机队形指挥运动模型，如下所示：

$$d_n = g_n(X_1, \dots, X_n) + \frac{1}{2} \rho * \frac{dv^2}{dt} \quad (3)$$

其中： d_n 表示战斗机之间相对的距离； ρ 表示战斗机的气动系数； X_1 表示各个战斗机的坐标；其他未知数意义同上。

经过以上的分析，完成了基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统的设计，接下来总结此系统的工作具体流程，如图 6 所示。

首先将系统的所有功能模块和器件初始化设置、完成初检测试后，开始启动系统。然后系统接收由总控制中心发送的战斗机队形指挥控制命令，对此命令进行剖析，根据需要编排战斗机的数量、地形状况、位置条件等数据信息，带入战斗机队形运动编队模型内，计算生成一套最规范的战斗机队形指挥控制方案。最后将方案上传到系统的硬件区域，集成相应的器件，对所有战斗机按照方案进行指挥控制操作，在此过程中，监控器实时显示战斗机队形变换状态信息，保证指挥控制的无误性，如果出现异常，立即上报，提高问题解决的效率，如果无问题，持续完成操作，将监控数据存档，结束控制任务，开始下一个战斗机队形指挥控制任务。

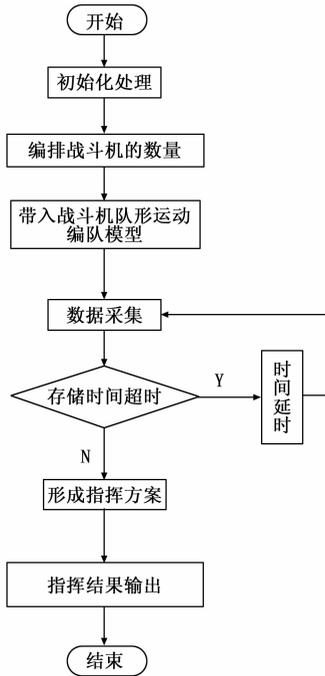


图 6 基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统

3 实验结果与分析

为了检验此系统的性能是否有效，进行对比试验，选取基于人工势场分析的战斗机队形指挥控制系统和所设计基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统共同完成测试，确保试验的真实性和科学性。

3.1 实验方法

本次试验将 30 个相同型号的战斗机随机分为 3 组，每组保证 10 架战斗机，然后再设置 3 组战斗机队形的编队状态，分别为“人”形编队、“大”形编队、“S”形编队，在试验进行开始后，利用一分钟时间，完成战斗机队形指挥控制任务的选取，并将任务发布到 3 个系统内，保证试验的公平性。3 个测试的战斗机队形指挥控制系统，分别与 3 组战斗机进行串联连接，构成一个对比试验测试的基本框架。本文通过对战斗机队形指挥控制系统的研究，明确了该系统性能的基本表现状态，通过对比试验确定了战斗机队形完成的匹配度、战斗机队形指挥控制过程中的总体收敛误差和战斗机队形指挥控制中通信信号的稳定性 3 个比较因素。在试验前，工作人员需要进行试验预处理操作，主要工作为检查每架战斗机的性能、测试场地、数据分析仪、系统是否成功调用，一切准备好后，开始测试，本次试验抽取的战斗机队形指挥任务为使每组战机构成“S”形编队，下达任务后，开始试验，计算机记录测试数据，计算机全部接收到 3 组战斗机任务完成响应后，结束试验测试、整理测试数据、完成测试分析。

3.2 实验结果讨论

以上设定的对比试验测试流程具有逻辑性，并且满足战斗机队形指挥控制系统工作的条件约束，因此测试的结

果具有可信度。得到的匹配实验结果如表 1 所示。

表 1 指挥系统匹配实验结果

实验次数	匹配度 %	
	人工势场分析系统	设计系统
1	95.14	99.92
2	94.27	99.85
3	96.31	99.99
4	94.85	99.96
5	93.52	99.99
6	93.14	99.98
7	94.22	99.89
8	95.36	99.97
9	94.85	99.98
10	93.97	99.99

通过上述测试结果，得出本文设计的战斗机队形指挥控制系统的队形完成匹配度最高，平均值达到了 99.9%，基于人工势场分析的战斗机队形指挥控制系统的队形完成匹配率较低，为 96%。根据计算机对战斗机队形变换数据和系统指挥控制数据的分析，战斗机队形指挥控制过程中，战斗机的整体收敛误差最高的是基于人工势场分析的战斗机队形指挥控制系统，收敛误差最低的是本文设计的系统。因此，根据以上的试验测试结论，可以得出本文设计的系统比基于人工势场分析的战斗机队形指挥控制系统的性能好，指挥控制战斗机队形的交互性高。

在此基础上测试两种系统对 3 组相同型号的战斗机的队形指挥控制耗时情况，得到对比结果如图 7 所示。

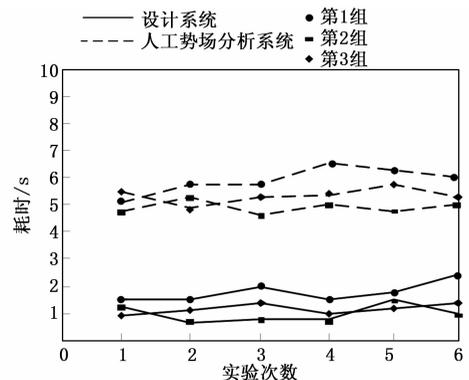


图 7 基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统

如图 7 所示，在 6 次实验过程中，人工势场分析系统对“人”形编队的队形指挥控制耗时平均值为 6.2 s，对“大”形编队的队形指挥控制耗时平均值为 5.1 s，对“S”形编队的队形指挥控制耗时平均值为 5.5 s；而所设计系统对“人”形编队的队形指挥控制耗时平均值为 1.7 s，对“大”形编队的队形指挥控制耗时平均值为 0.9，对“S”形编队的队形指挥控制耗时平均值为 1.2 s。所设计系统的控制耗时较短，系统运行效率较好。

综上所述，基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统的交互性和控制指挥性能最佳，达到本文预期设

定的目标。

4 结束语

本文设计基于北斗卫星通信定位的战斗机队形指挥控制系统。硬件分别设计了定位器、指挥器、信号接收器、监控器,将系统性能的配置达到最高,系统软件分析了北斗卫星定位技术的核心、战斗机队形指挥运动编队模型以及战斗机队形指挥控制系统功能的具体实现流程,使系统具有交互性和操作性,保证战斗机变换队形过程中,各种通信信号的持续通信,指挥控制指令的百分百传递,提高战斗机的工作效率。本文设计的战斗机队形指挥控制系统对于其他类型的飞行器也具有一定的适用性。

参考文献:

- [1] 陈晓琳,李盛乐,刘坚,等. 基于北斗卫星通信的地震应急指挥系统研究[J]. 地震工程学报, 2020, 42(6): 123-130.
- [2] 谢丁龙,李佳琳. 基于北斗上行信道和GNSS的远程控制系统电磁兼容设计[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(16): 155-157.
- [3] 何方城,甄国涌,单彦虎. 基于北斗通信的小型无线信标机设计[J]. 电子器件, 2020, 43(1): 15-19.
- [4] WEI B, LI Y L, et al. Design and Implementation of Digital Control System Based on PAC Architecture for Large-Capacity Pulse Power Supply[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2019, 47(12): 5339-5344.
- [5] 王继业,沈亮,王林信,等. 基于北斗的同期线损用电信息采集系统设计与实现[J]. 电信科学, 2019, 35(3): 113-121.
- [6] 赵娟,白春,胡亚辉,等. 基于北斗卫星的船载无人机惯性导航定位系统[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(8): 143-145.
- [7] GAETANI F, PRIMICERI P, ZAPPATORE G A, et al. Hardware design and software development of a motion control and driving system for transradial prosthesis based on a wireless myoelectric armband[J]. Iet Science Measurement & Technology, 2019, 13(3): 354-362.

(上接第160页)

- [5] 史冉东,郭正勇,高文. 单通道旋转导弹惯导红外外空交班技术研究[J]. 上海航天, 2017, 34(s): 88-94.
- [6] 吴衡. 某机载瞄准系统精度评估测试方法[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(1): 143-144.
- [7] 赵思宏,高晓龙,贾秋锐. 某型飞机火控校靶仪的研究与设计[J]. 光学精密工程, 2003, 11(6): 581-585.
- [8] 杨长启,张列航. 空空导弹挂装精度的校靶方法[J]. 航空科学技术, 2009(4): 30-32.
- [9] 宋岩峰,邵晓鹏,朱新宏. 多管航空火箭发射器激光校靶系统[J]. 电光与控制, 2008, 15(4): 81-85.
- [10] 胡禹,谢天保,廖祖平,等. 基于光电跟踪的飞机校靶技术

- [8] 徐一鸣,李笑,杨凯凯,等. 基于深度学习的四旋翼无人机控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(5): 129-1331.
- [9] 霍延军,袁旭华. 基于CARLA-PSO组合模型的机器人步态控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(9): 249-253.
- [10] SHAHID H, KAMRAN M, SADAF M, et al. Design and modeling of an optical band gap matched temperature controlled indoor concentrated light transmission system for photovoltaic energy production[J]. Optik, 2019, 176: 502-511.
- [11] 王明辉,雷卫延,黄海瑾,等. 基于北斗的自动气象站报文传输方案设计[J]. 气象科技, 2019, 47(6): 900-904.
- [12] 王杰,欧阳小龙,马畅,等. 多链路通信环境辐射监测系统[J]. 核电子学与探测技术, 2019, 39(2): 184-189.
- [13] 王浩,郝凤琦,董振振,等. 基于北斗定位的小麦播种机控制系统优化[J]. 农机化研究, 2019, 41(10): 37-40.
- [14] 肖楚琬,韩维,王希彬,等. 军用飞机EWIS适航性改进体系设计[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(8): 1-6, 11.
- [15] 罗建平,刘岗,陈超,赵铁男. 防空指挥控制系统人机交互设计趋势研究[J]. 包装工程, 2020, 41(24): 51-56.
- [16] 韩强,郑江平,赵瑞. 基于北斗卫星传输的预警影响区域数据压缩算法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(23): 156-162.
- [17] 冯姣,陈苏婷,李鹏. 北斗预警信息压缩传输系统的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2019, 42(10): 118-123.
- [18] ZHU W L, YANG X, DUAN F, et al. Design and Adaptive Terminal Sliding Mode Control of a Fast Tool Servo System for Diamond Machining of Freeform Surfaces[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2019, 66(6): 4912-4922.
- [19] 阳明霞. 北斗卫星通信系统在船舶航线规划中的应用[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(6): 73-75.
- [20] 张敬淳. 基于北斗卫星的航海导航系统定位目标精准识别方法[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(12): 107-109.
- [21] 赵东昊,卢昱,王增光. 北斗战场通信网络身份认证方法[J]. 现代防御技术, 2019, 47(3): 99-105.
- [11] 赵长辉,段洪伟,李波,等. 飞机校靶装置技术的发展[J]. 航空精密制造技术, 2017(2): 46-51.
- [12] 汪智超,黄福贵. 直升机武器系统校靶技术研究[J]. 直升机技术, 2016(3): 56-62.
- [13] JAMES J. Jaklitsch. Enhancing Mission Effectiveness Through Technology Insertion: Advanced Boresight Equipment - A Tri-Service Solution[C] //AUTOTESTCON'93. IEEE Systems Readiness Technology Conference Proceedings, IEEE, 1993: 715-719.
- [14] PETERSEN, et al. System for point-by-point measuring of spatial coordinates[P]. US, US5973788: 1999-10-26.