

文章编号:1674-8190(2020)05-716-08

舰载机飞行控制模拟训练平台搭建研究

宋立廷, 曲志刚, 吴文海, 高丽

(海军航空大学青岛校区 控制科学与工程系, 青岛 266041)

摘要: 根据我国海军当前的发展需求, 针对舰载机飞行员及相关技术保障人员匮乏这一问题, 设计搭建一套舰载机飞行控制模拟训练平台。阐述搭建该训练平台的核心目的及其基本功能, 结合飞行控制系统和电传控制的基本原理, 介绍平台的具体组成结构以及各个组成装置的原理及功能。实际应用表明, 该飞行控制模拟训练平台可用于飞行控制专业的相关原理教学和模拟操作训练, 达到服务教学训练、促进科学研究、保障部队实战的要求。

关键词: 舰载机; 飞行控制; 电传飞控; 飞行仿真; 模拟训练平台

中图分类号: V216.8; TP391.9

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.05.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the Design of Flight Control Simulation Training Platform for Carrier-based Aircraft

SONG Liting, QU Zhigang, WU Wenhai, GAO Li

(Control and Engineering Department, Qingdao Branch, Naval Aviation University, Qingdao 266041, China)

Abstract: According to the current development needs of China's navy, in view of the shortage of carrier based aircraft pilots and related technical support personnel, a set of carrier based aircraft flight control simulation training platform is designed and built. The core purpose and basic functions of the training platform are expounded, and the specific structure of the platform and the principle and function of each component device combined with the basic principles of flight control system and fly by wire control are introduced. The practical application shows that the flight control simulation training platform can be used for flight control related principle teaching and simulation operation training, which can meet the requirements of serving teaching and training, promoting scientific research and ensuring actual combat of troops.

Key words: carrier-based aircraft; flight control; fly-by-wire flight control; flight simulation; simulation training platform

0 引言

随着我国海军“走向深蓝”战略的深化实施, 航空母舰作为海军走向远海大洋的首要利器, 重要性不言而喻, 而舰载机是航空母舰的主要攻防武器, 其战斗力的发挥效果直接影响了航空母舰的作战

效能。因此, 对舰载机飞行员及相关专业技术人员的培养和训练十分重要, 尤其是相关院校, 若能充分发挥教学作用、提升训练品质, 培养出优秀的舰载机飞行员和装备维护保障人员, 必将对未来我国航母形成实质战斗力打下坚实基础^[1]。为了提高飞行员和保障人员的训练质量、加快培养进程、保

收稿日期: 2019-10-12; 修回日期: 2020-01-08

基金项目: 2110 工程实验室建设

通信作者: 宋立廷, 441211638@qq.com

引用格式: 宋立廷, 曲志刚, 吴文海, 等. 舰载机飞行控制模拟训练平台搭建研究[J]. 航空工程进展, 2020, 11(5): 716-723.

SONG Liting, QU Zhigang, WU Wenhai, et al. Research on the design of flight control simulation training platform for carrier-based aircraft[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(5): 716-723. (in Chinese)

证舰载机安全起降和发挥战斗力,亟需搭建高水平舰载机飞行控制模拟训练平台^[2-3]。

国外有关飞行模拟器的研究起步较早,例如,T. L. Alfred^[4]通过搜索收集信息,介绍了飞行模拟的历史及飞行模拟器实现飞行员训练的相关功能;A. S. J. Van Heerden等^[5]开发了一种具有俯仰和横滚两个自由度的运动平台驱动系统,可用于本科生的工程培训;J. L. Bouthillier^[6]设计出一种易实现且低成本的三自由度飞行模拟运动平台,并介绍了该平台的优缺点和应用情况;Sérgio Ronaldo Barros dos Santos等^[7]利用专用微处理器和X-Plane飞行模拟器组成测试平台,进行了飞机纵向控制系统的设计、仿真和实时实现;G. K. Sagoo等^[8]利用西弗吉尼亚大学的飞行模拟器功能,让飞行员在六自由度的运动飞行模拟器中进行操纵测试,以评估F-15飞机的故障检测、隔离和识别系统的性能。

近年来,国内对模拟飞行训练装置的开发设计也逐渐兴起。例如,张沛帆^[9]设计了基于Vega-Prime视景驱动的某型运输机飞行模拟训练器;王志乐等^[10]利用HLA分布式仿真技术,基于COM组件与PLUGIN设计了分布式交互飞行虚拟仿真训练平台,可用于桌面级仿真训练软件和中小型飞行训练器的快速开发;张兵强等^[11]基于虚拟仿真技术开发了航空类虚拟仿真实验平台,以供飞行学员进行主战机型的空中模拟飞行操作实验和教学体验飞行;郑嘉铭等^[12]基于MATLAB和Flight Gear平台,改进了某型国产飞行训练装置。

但已有研究尚缺乏针对舰载机机型的适配建模,而且大多是单纯对飞行环节进行仿真模拟,难以适用于机务保障人员的培养和训练。为此,本文设计搭建一套舰载机飞行控制模拟训练平台,阐述该平台的基本功能与原理,详细介绍其组成结构以及各个组成装置的原理及功能,并通过实际应用验证该平台的使用优势。

1 基本功能

舰载机飞行控制模拟训练平台具备三大基本功能:实验教学功能、科学研究功能和为部队服务的功能。旨在保障技术人才的教学训练,支撑先进理论的科学研究以及满足服务部队的实战需求;为海军航空兵部队飞行控制相关专业的装备保障服务提供验证平台;为海军机关飞行控制系统、着舰

控制系统以及相关专业装备的研究、论证决策等提供技术支持^[13]。

其中,实验教学功能指理论层面的综合控制原理教学,以及实际操作层面的模拟驾驶训练和维护技能训练;主要提供自动飞行控制原理、电传控制系统原理、主动控制技术原理、下滑着舰控制原理、自修复飞行控制原理和自动攻击导引相关原理的教学实验;还可提供舰载机空中飞行模式的仿真、视景反馈和地面模拟检测、故障排查的功能。实现空中飞行驾驶和下滑着舰操纵等模拟训练,以及自动飞行控制系统(包括电传控制系统)的通电检查、性能调整、故障模拟与排除等操作技能的训练^[14]。

科学研究功能包括自动飞行控制系统控制律研究、自动着舰控制方法和着舰引导控制律研究、自动飞行控制系统安全性和鲁棒性研究、飞行综合控制技术研究 and 自动飞行控制系统控制品质研究。本文搭建的训练平台可以为上述技术方法的研究提供仿真模拟环境和演示验证试验平台^[15]。

为部队服务功能则包括自动飞行控制系统和着舰引导控制系统的故障模拟排查及性能分析。可以模拟自动飞行控制系统、电传控制系统和着舰引导控制系统的空中故障状况并进行故障重现和影响分析,对部队实际装备发生的疑难故障进行复现,以便研究分析其成因及解决办法。

2 基本原理

本文设计搭建的舰载机飞行控制模拟训练平台,其实质是一套“人在回路”的舰载机飞行控制半物理仿真系统,不仅具备舰载机飞行仿真模块,还配置了电传系统模拟装置和舵面模拟装置等模块,能够实现舰载机飞行控制系统地面通电、性能调试、故障模拟与排除的课程实践及电传控制、着舰引导控制、自修复飞行控制等先进控制技术的实验教学,适应舰载机飞行员及飞行控制系统相关装备保障人员岗位任职培养的需求。

训练平台的核心功能体现了自动飞行控制系统和电传控制系统等的基本原理,在飞机飞行控制系统中,是通过舵回路根据飞行控制指令自动驱动飞机操纵面,改变飞机气动受力,调整飞机运动状态,达到自动飞行控制的目的。早期的控制回路主要是通过机械操纵进行传动,存在很多缺点,因此出现了利用反馈控制原理,将飞行器的运动作为受

控参数的电子飞行控制系统——电传操纵系统。典型单通道电传操纵系统主要由杆位移传感器、飞行控制计算机、舵机及其作动器、飞机运动状态传感器、控制/显示接口装置等组成。飞行员的杆操纵信号、飞机运动状态信号和控制面作动器位置信号全部通过电信号传递。电传操纵系统能够快速、准确地处理飞控计算机产生的控制面偏转角指令并以电信号的形式传送给控制面伺服作动器。控制面伺服作动器根据飞行员的指令信号与相应传感器测得的飞机运动状态之间的偏差进行飞行控制，驱动相应的控制面运动并使飞机能够快速、平稳地跟踪飞行员的指令。

而在舰载机着舰过程中，因所处环境复杂、要求精度高、操作难度大，仅靠自动飞行控制系统和电传控制系统难以平稳、快速地实施着舰，故还涉及自动着舰引导技术、甲板运动补偿技术、舰尾流抑制技术、自动油门控制系统以及全自动着舰引导技术等^[16-17]。

3 组成结构

基于自动飞行控制的基本原理，训练平台模拟系统的飞行仿真模块以飞行员的操纵指令、模拟故障参数和数据采集传输模块所获取的信息等作为输入，运用计算机仿真技术、信号通信技术和数据库管理技术等，依据飞行动力学的理论和数据及飞行控制学原理，使用实时的 4 阶龙格-库塔法解算飞机的运动状态和运动轨迹，通过电传控制系统模拟装置传递控制信号，以视景显示模块、虚拟仪表模块以及舵面模拟装置等作为模拟数据输出，实现对现实飞行环境的模拟仿真，既能实时反馈解算飞行运动参数又能同步驱动舵面模拟装置产生相应的舵面偏转，以供学员直观地感受、学习并且进行实际操纵训练。其简单的结构原理如图 1 所示。

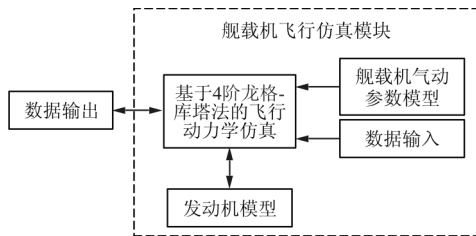


图 1 舰载机飞行仿真模块结构图

Fig. 1 Structure diagram of carrier-based aircraft flight simulation module

在进行着舰过程仿真时，需由舰面运动引导仿真模块来仿真舰船的运动和航母甲板的运动，由着舰环境仿真模块来模拟舰尾流的信息，由精密着舰引导雷达系统产生着舰距离和偏差并且规划期望着舰轨迹。基于着舰环境信息和着舰引导律，由自动飞行控制系统和自动油门控制系统所组成的综合控制系统根据预设的自动着舰控制律输出控制信号，在与人工操纵信号融合后，经由电传控制系统控制舵面和发动机，保证舰载机下滑时的迎角和速度恒定并能沿着期望的下滑轨迹进近着舰。自动着舰控制系统的原理如图 2 所示^[18-19]。

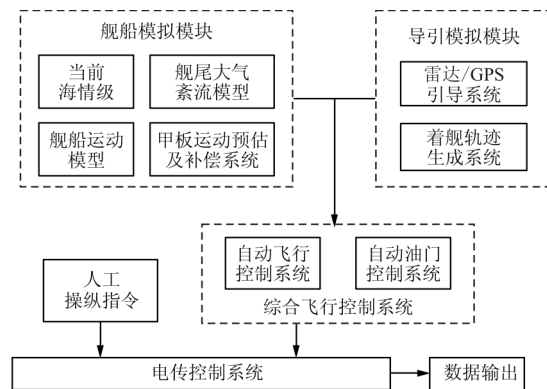


图 2 自动着舰控制系统原理图

Fig. 2 Diagram of the automatic landing control system

甲板运动参数、舰尾流模型、环境模型参数以及着舰引导参数均由数据采集传输模块收集，通过数据传输单元输送给数据库管理系统，同时还包括飞行状态参数、驾驶操纵参数、控制设置参数等。数据采集传输模块结构如图 3 所示。

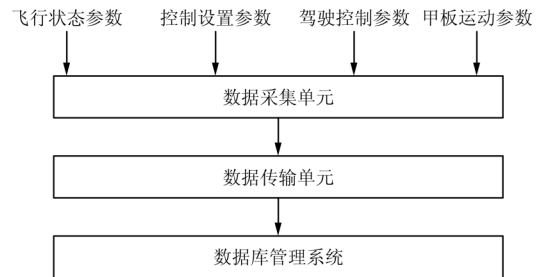


图 3 数据采集传输模块结构图

Fig. 3 Structure of data acquisition and transmission module

训练平台的硬件架构由舰载机飞行控制半物理飞行仿真系统、地面检测设备模拟装置、交联信号模拟器、控制与故障设置台等组成，各组成部分结构关系如图 4 所示。

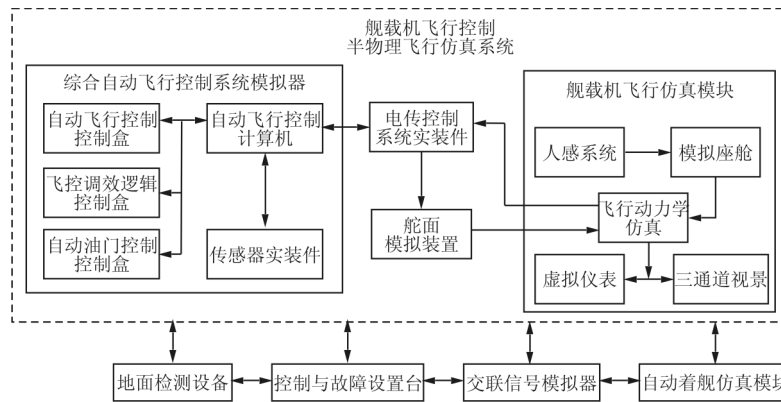


图 4 舰载机飞行控制模拟训练平台原理结构图

Fig. 4 Diagram of the carrier-based aircraft flight control simulation training platform

平台实际整体布局如图 5 所示,其中飞行控制半物理飞行仿真系统是仿真训练和模拟操作的主体,地面检测设备模拟装置用于进行舰载机飞行控制系统地面通电、性能调试操作的教学训练,交联信号模拟器用于各类模拟信号的产生和综合,控制与故障设置台可以实现实验项目管理、机型管理和电源控制等任务,还可以人为设置空中或地面故障情况,分析故障影响并进行应对操作的训练^[20]。

块(三通道投影视景显示、模拟座舱、人感系统模拟装置等)、电传控制系统模拟器、自动飞行控制系统和舵面模拟装置。

3.1.1 飞行仿真模块

利用舰载机飞行动力学数据和计算机仿真技术,采用半物理实时仿真,实现模拟飞行操纵,飞行仿真系统具有逼真的座舱显示和杆操纵系统。飞行模拟器配有模拟座舱,座舱仪表显示功能采用虚拟仪表实现,驾驶杆、油门杆和脚踏配置人感模拟系统,操控特性与真实舰载机基本一致,采用三通道视景显示系统实现舰载机飞行或着舰过程的场景画面显示,舰载机飞行仿真装置硬件组成如图 6 所示。

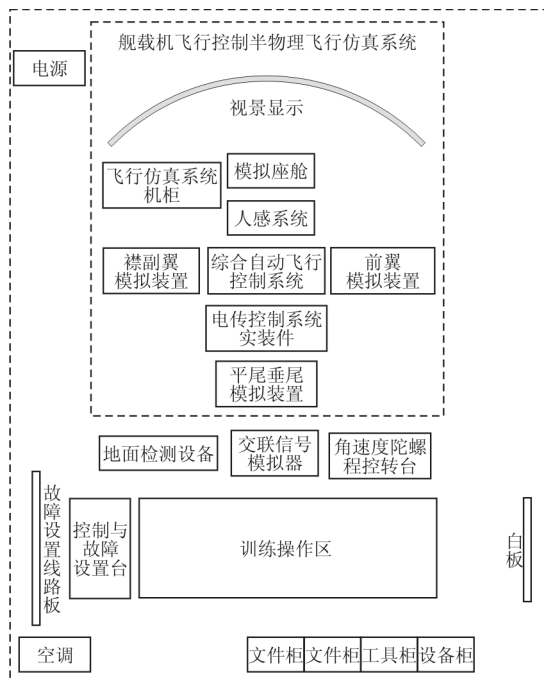


图 5 舰载机飞行控制模拟训练平台整体布局图

Fig. 5 Layout of the carrier-based aircraft flight control simulation training platform

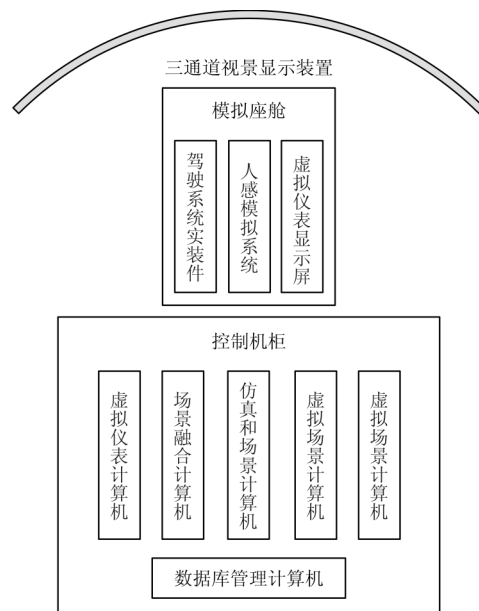


图 6 舰载机飞行仿真装置硬件组成示意图

Fig. 6 Diagram of the hardware composition of the carrier-based aircraft flight simulation device

3.1 舰载机飞行仿真系统

舰载机飞行仿真系统包括舰载机飞行仿真模

模拟座舱用来实现飞控系统的操控和检测功能以及飞行或检测状态信息显示,由驾驶系统模拟装置、人感模拟系统、虚拟仪表显示屏组成。

驾驶系统模拟装置壳体采用复合材料模具成型,外观精致牢固,移动方便。座椅符合人体学设计,座椅安装平台可前后移动。驾驶系统模拟装置和人感模拟系统可以实现模拟杆力和配平功能,油门杆系统采用悬挂式双发油门,操控特性与实战飞机基本一致。

仿真计算机和数据库管理计算机能够满足飞行仿真的实时性、数据管理容量的要求。模拟座舱还包括飞行控制系统所需的控制显示装置,模拟座舱系统结构如图 7 所示。

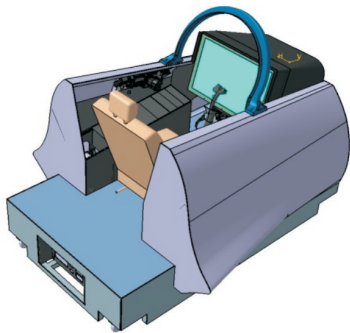


图 7 模拟座舱系统结构示意图

Fig. 7 Diagram of the simulated cockpit system

3.1.2 自动飞行控制系统模拟器

舰载机自动飞行控制系统用实装试验件实现半物理实时仿真。自动飞行控制系统相关控制部件的模拟装置采用与真实装备一致的输入/输出信号,满足自动飞行控制系统的实验需求,可实现舰载机自动飞行控制系统模态模拟、控制律分析、性能分析和故障模拟,自动飞行控制系统模拟器的硬件结构如图 8 所示,包括自动飞行控制计算机(或模拟装置)、自动飞行控制盒模拟装置、飞控调效逻辑控制盒模拟装置和传感器模拟装置。自动飞行控制计算机模拟装置接收来自传感器模拟装置、电传控制系统模拟器以及交联信号模拟器的信息,根据操作员通过自动飞行控制盒、地面检测设备和控制与故障设置台等给定的操纵量和输入指令,自动飞行控制计算机模拟装置进行模态转换逻辑和控制律解算,形成控制信号,经数据通信总线传递给电传控制系统模拟装置,控制舵面模拟装置运动,

并完成对姿态和航迹的控制。

在进行着舰过程模拟时,自动着舰仿真模块可以采用进场动力补偿(APC)技术、甲板运动补偿与预估技术、着舰引导跟踪雷达噪声抑制技术、舰尾气流扰动抑制技术以及舰载机复飞决策技术等对舰载机自动着舰控制系统进行模拟,完成对舰载机着舰导引控制、综合飞行/推进控制、进场/着舰飞行管理控制理论的实验研究。

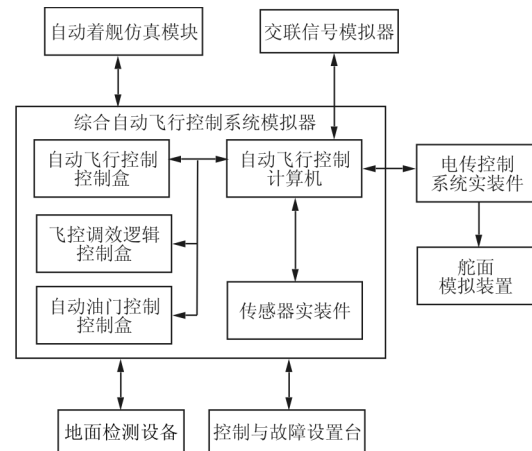


图 8 自动飞行控制系统模拟器硬件结构图

Fig. 8 Diagram of hardware structure of the automatic flight control system simulator

3.1.3 舵面模拟装置

在实际飞行中,飞行控制系统通过控制飞机的舵面来调整飞行状态,在地面通电检查、故障分析和控制律重构等实验中需直接观察舵面偏转情况并要求能够设置舵面卡死故障,因此舵面模拟装置应能够模拟水平尾翼、垂直尾翼、前翼、襟副翼的偏转,在驾驶杆进行操纵时,使学员能够直观地观察舵面状态的变化或研究舵面故障情况。舵面模拟装置由电传控制系统模拟器驱动,其结构如图 9 所示。

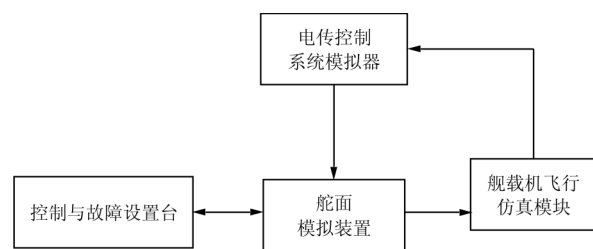


图 9 舵面模拟装置结构图

Fig. 9 Structure of the control surface simulation device

3.2 交联信号模拟器

交联信号模拟器能够模拟电传控制系统、自动飞行控制系统和着舰引导系统所需的各种交联信号,包括惯导系统、大气数据系统、任务系统等产生的飞行状态数据以及控制偏差信号。利用 A/D 转换、总线数据生成技术,完成电传控制系统与自动飞行控制系统的信号激励^[21]。

3.3 控制和故障设置台

利用控制和故障设置台完成训练平台各模块的管理、控制以及故障模式设置,控制台实现实验项目管理、机型管理和电源控制等任务,分为电源控制单元和教员实验控制单元两部分。电源控制单元主要完成实验系统的主电源控制、交流电源相序的测量、二次电源的产生和测量、电源故障的告警等任务。教员实验控制单元主要完成实验系统任务控制,对各类数据的传输、分析和管理,实验和训练效果的评估等任务^[22]。

4 实现与应用

依照所设计的飞行控制模拟训练平台,编写飞行驾驶模拟和舰基起降操纵模拟程序,并搭建、连接各硬件设备。平台完整建成后的主体如图 10 所示,图中①为三通道投影视景显示屏;②为综合模拟座舱;③为舵面模拟装置;④为实验中控机柜。

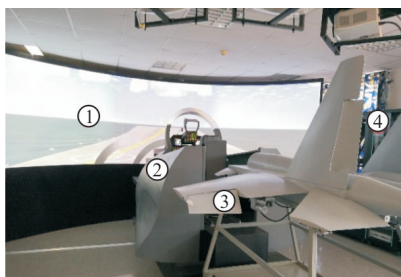


图 10 飞行控制模拟训练平台实物图

Fig. 10 Flight control simulation training platform physical graph

本文设计的模拟训练平台实际使用过程中的实时仿真场景如图 11 所示,其可作为舰载机飞行员进行着舰操纵训练的模拟器,其中由舰载机飞行仿真系统模拟飞机驾驶视景,系统中的航空母舰模

拟场景如图 12 所示;此外还可以用于控制律设计的半物理仿真验证,例如,试验舰载机着舰鲁棒控制的实际仿真效果如图 13 所示。



图 11 模拟训练平台实时仿真场景图

Fig. 11 Real-time simulation scene graph of training platform



图 12 航空母舰模拟场景

Fig. 12 Aircraft carrier simulation scene



图 13 舰载机着舰鲁棒控制仿真效果图

Fig. 13 Simulation effect diagram of landing robust control

平台建成后,现已应用于飞行控制及相关专业学员的《飞行控制原理》《电传控制系统》等课程的实验教学和模拟实操训练,每门课程根据培养目的安排 2~3 次实验课,使课堂教学更具开放性、趣味性,优化了学员对专业知识的理性认识和直观感受。同时也为研究生学员进行控制律原理设计提

供了仿真验证平台,改善了培养条件,丰富了训练手段,提高了教学效果,受到广大师生的一致好评。

5 结束语

本文设计搭建的舰载机飞行控制系统模拟训练平台是解决舰载机飞行员及相关技术保障人员匮乏这一问题的有效手段,符合我国海军当前的发展需求。使用该平台进行飞行控制专业相关原理的教学及模拟操作训练,不仅能加快飞行员及相关专业技术人员的培养进度、提升训练质量,还可以为新型战机飞行控制系统的改进性研究、舰载机着舰引导技术和其他新技术、新理论的研究提供实验平台。但该训练平台的功能尚不完善,仍有很多需要改进的问题,例如未来可引入虚拟现实(VR)技术,通过给模拟座舱加配机械臂来实现 4D 效果的模拟飞行体验,为学员模拟操作训练提供更逼真的环境等。

参考文献

- [1] 赵震炎. 地面飞行模拟器的现状和发展趋势[J]. 航空学报, 1987, 8(10): B451-B458.
ZHAO Zhenyan. The present status and future directions of on-ground flight simulator[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1987, 8(10): B451-B458. (in Chinese)
- [2] 王福成, 马永财, 解国梁, 等. 飞行模拟训练对提高飞行技术专业教学质量的作用研究[J]. 内燃机与配件, 2019(8): 238-239.
WANG Fucheng, MA Yongcai, XIE Guoliang, et al. Research on the effect of flight simulation training on improving the teaching quality of flight technology specialty[J]. Internal Combustion Engines and Fittings, 2019(8): 238-239. (in Chinese)
- [3] 王锁平. 军队院校实验理论研究与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
WANG Suoping. Experimental theory research and practice in military academies[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [4] ALFRED T L. Flight simulation[M]. Hampshire, United Kingdom: Ashgate Publishing Ltd., 2005.
- [5] VAN HEERDEN A S J, LIDBETTER R, LIEBENBERG L, et al. Development of a motion platform for an educational flight simulator[J]. International Journal of Mechanical Engineering Education, 2011, 39(4): 306-322.
- [6] BOUTHILLIER J L. The design, implementation and analysis of a low cost flight simulator using RMC's 3DOF motion platform[D/OL]. (2010-05-07)[2019-10-12]. <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=6c5cd6a5b489615c81de7a60366aecac>.
- [7] Sérgio Ronaldo Barros dos Santos, Neusa Maria F de Oliveira. Longitudinal autopilot controllers test platform hardware in the loop[C] // 2011 IEEE International Systems Conference. Montreal, QC, Canada: IEEE, 2011: 4-7.
- [8] SAGOO G K, GURURAJAN S, NAPOLITANO M, et al. Pilot-in-the-loop assessment of neurally augmented dynamic inversion based fault tolerant control laws in a motion-based flight simulator [C] // AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit. Honolulu, Hawaii: AIAA, 2008: 18-21.
- [9] 张沛帆. 飞行器模拟训练系统的仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
ZHANG Peifan. The simulation research on the aircraft simulation training system[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2016. (in Chinese)
- [10] 王志乐, 许路航, 付战平. 分布式交互虚拟仿真飞行训练平台的设计与实现[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(13): 3248-3253.
WANG Zhile, XU Luhang, FU Zhanping. Design and implementation of platform for distributed interactive virtual simulation flight training[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(13): 3248-3253. (in Chinese)
- [11] 张兵强, 林洪文, 方伟. 航空虚拟仿真实验平台构建及教学实施[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(12): 146-149.
ZHANG Bingqiang, LIN Hongwen, FANG Wei. Construction of experimental platform with aviation virtual simulation and teaching implementation[J]. Experiment Technology and Management, 2016, 33(12): 146-149. (in Chinese)
- [12] 郑嘉铭, 陈丽君. 一种模拟飞行训练装置的研究改进[J]. 科技视界, 2016(5): 96-97.
ZHENG Jiaming, CHEN Lijun. Research and improvement of a simulated flight training device[J]. Science and Technology Version, 2016(5): 96-97. (in Chinese)
- [13] WU Dongsu, GU Hongbin. Adaptive sliding control of six-DOF flight simulator motion platform[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2007, 20(5): 17-23.
- [14] 秦敬辉, 任海川, 徐铭. 航空兵作战保障实验室建设[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(8): 125-128, 138.
QIN Jinghui, REN Haichuan, XU Ming. Construction of aviation combat support laboratory[J]. Laboratory Research and Exploration, 2007, 26(8): 125-128, 138. (in Chinese)
- [15] 李利, 谢树升, 纪凯, 等. 立足指技融合的电子信息创新实验室建设实践[J]. 科技创新与应用, 2019(18): 31-34.
LI Li, XIE Shusheng, JI Kai, et al. The practice of electronic information innovation laboratory based on the integration of finger-technical technology[J]. Science and Technology Innovation and Application, 2019(18): 31-34. (in Chinese)

- Chinese)
- [16] 吴文海. 飞行综合控制系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 2007.
WU Wenhai. Integrated flight control system[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [17] 张明廉, 徐军. 舰载飞机自动着舰系统的研究[J]. 北京航空航天大学学报, 1994, 20(4): 386-391.
ZHANG Minglian, XU Jun. Research on shipborne aircraft automatic landing system[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1994, 20(4): 386-391. (in Chinese)
- [18] 柯林森. 飞行综合驾驶系统导论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
Collinson. Introduction to flight integrated driving system [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [19] 崔玫. 舰载机全自动着舰引导飞控系统导论[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
CUI Mei. Design of automatic landing control flight control system for carrier aircraft[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2013. (in Chinese)
- [20] 李馥娟. 大数据实验室建设与应用研究[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(5): 249-252.
LI Fujuan. Research on the construction and application of big data laboratory[J]. Laboratory Technology and Management, 2018, 35(5): 249-252. (in Chinese)
- [21] 陶玉彝, 刘雅奇, 邓宝. 电子对抗作战仿真实验方案设计及优化研究[J]. 电子工程学院学报, 2013, 32(2): 58-61.
TAO Yuben, LIU Yaqi, DENG Bao. Research on design and optimization of electronic countermeasure simulation experiment scheme[J]. Journal of Electronic Engineering College, 2013, 32(2): 58-61. (in Chinese)
- [22] 郭根生. 计算机图像设计实验室的建立与发展[J]. 中国电化教育, 2002(9): 83-84.
GUO Gensheng. The establishment and development of computer graphic design laboratory[J]. China Electro-education Education, 2002(9): 83-84. (in Chinese)

作者简介:

宋立廷(1994—),男,博士研究生。主要研究方向:飞行器控制与制导。

曲志刚(1973—),男,硕士,副教授。主要研究方向:飞行器导航与制导技术。

吴文海(1962—),男,博士,教授。主要研究方向:精确制导与飞行控制。

高丽(1982—),女,博士,讲师。主要研究方向:先进飞行控制技术。

(编辑:马文静)