

# 基于Flightgear和Stewart Platform的硬件在环虚拟仿真教学案例

高翔 曾庆凯 何为凯 徐春龙 管宁

山东交通学院航空学院

**摘要:**面向航空电子设备维修、飞行器制造工程和飞行器设计与工程专业的学生,设计建立飞行模拟环境,将Stewart Platform接入虚拟飞行仿真环境当中实现硬件在环。借助FlightGear开源飞行模拟器软件作为软件端模拟器和实景反馈、MATLAB Simulink虚拟仿真实验平台搭建信号通路和控制系统、使用由Arduino微控制器控制的舵机驱动六自由度Stewart平台作为硬件飞行姿态仿真,验证了在简易设备条件下的Stewart Platform硬件在环仿真可行性。

**关键词:**飞行虚拟仿真;联合仿真;Stewart Platform;FlightGear

**【DOI】**10.12252/j.issn.2096-6288.2023.06.169

## 一、面向无人机的虚拟仿真教学现状

在新工科背景下,信息化技术不断发展和深化,我国对教育信息化重视程度越来越高。教育部近年来对国家级实验教学示范中心建设方面非常重视,并提出建设国家级虚拟仿真实验中心的重要意义。高等学校实验教学高度信息化发展时代,虚拟仿真实验教学中心建设工作符合高等教育的发展趋势,对提高我国高等教育质量的有着积极重要的作用。教育部在2013年-2016年间,在全国范围的高校建设了300个国家级虚拟仿真实验教学中心,包括部属高校、地方高校和军队院校<sup>[1]</sup>。虚拟仿真实验教学的建设无疑已经成为衡量航空专业院校办学创新性和先进性的评价标准。无人机专业教学具有非常强的理论和实践结合的特点,因此借助虚拟仿真手段开展无人机专业的实践教学具有非常重要的意义<sup>[2]</sup>。将虚拟仿真实验教学工作归纳为以下几个方面。

第一,虚拟仿真实验教学在航空专业的应用研究。麻省理工学院在人工智能、机器人和计算机图形学领域的研究走在前端,在教学过程中大量采用VR、AR等虚拟仿真手段。民航领域波音公司的波音777飞机采用了全无纸化设计<sup>[3]</sup>,将虚拟环境通过VR系统与真实环境融合,让工人根据虚拟环境里的图纸模板机型加工,极大程度缩短了图纸环节的周期。国内高校借助计算机虚拟仿真技术形象直观展示教学中枯燥的理论和难以想象的场景,如飞机和发动机的结构组成等,可以实现模拟飞行等复杂场景的教学效果。北京航空航天大学刘虎等人在《飞机总体设计》课程中引入虚拟仿真实验教学,建有“隐身飞机探究与设计虚拟仿真实验”国家虚拟仿真实验教学项目,给学生提供了一个计算机、手机

和平板端皆可使用的隐身飞机设计平台;南京航空航天大学设计了航空发动机装配和试车的虚拟仿真教学系统,对于学生深入观察学习发动机的相关知识起到了非常重要的作用<sup>[4]</sup>。中航空业的成都飞机设计研究所针对维修训练仿真模型开发效率低、更新困难等突出问题,提出了支持大规模工程应用的快速开发流程,并对支撑虚拟维修训练仿真模型快速开发的维修任务建模、仿真模型装配、仿真模型更新3项关键技术的原理及实现途径进行了论述,解决了开展大规模工程推广应用中的技术瓶颈<sup>[5]</sup>。

第二,面向无人机专业的虚拟仿真教学研究。赵俊峰开展了无人机航迹规划虚拟视景仿真系统设计,将虚拟现实技术与航迹规划技术相结合,开展无人机的航迹虚拟视景仿真显示的研究,以实现评估无人飞机的航迹与姿态的目的<sup>[6]</sup>。天津大学卢燕梅等人针对集群无人机队形重构问题,在Matlab中发展算法解决了多无人机的目标分配和轨迹生成的实时性问题,实现了集群无人机的最优安全路径规划,实现了12架四旋翼无人机队形重构“建模—仿真—可视化”的一体化仿真演示<sup>[7]</sup>。陆军工程大学杨森等人开展了基于模拟训练的无人机实战能力培养方法研究,在分析模拟训练系统使用情况的基础上,探索基于模拟训练的无人机实战能力培养方法和手段,取得了良好的教学效果<sup>[8]</sup>。

虽然以上研究中都涉及了虚拟仿真手段在航空专业教学中的应用,但存在两方面的“不足”:

第一,仿真平台源代码不开放或难开放,教学平台多为第三方机构开发,拓展能力弱。第三方开发平台不仅仅在后期升级中缺点众多,而且在使用过程中,无法

让学生进行开放性、定制性的创新课程操作，给教学过程带来了极大不便。

第二，面向无人机专业的虚拟仿真教学平台非常少。现有教学平台多为航空器维修、发动机维修、飞机总体或零部件设计等，专门面向无人机设计、分析和应用的较少。

本教学团队在深入分析现有虚拟仿真平台架构的基础上，梳理虚拟仿真技术开源化存在的问题，从开源、可控、拓展性强等方面着手，提出面向无人机专业人才培养的具体解决思路，最后以所搭建的平台为工具探索基于开源虚拟仿真实验平台的无人机专业实践教学新模式。

## 二、基于Flightgear和Stewart Platform的硬件在环虚拟仿真平台搭建

本设计所采用的平台使用Arduino NANO开发板作为主控单元，使用六台低压大力舵机作为直腿的驱动器。使用金属舵机臂连接金属连杆，连杆通过球铰连接到上平台铰点位置，使用切割亚克力板作为上下平台，平台所用软硬件设备介绍如下。

### （一）平台主要软硬件设备

实验硬件环境包含计算机、Stewart Platform，单片机控制板、控制舵机、支撑连。Stewart Platform的上平台为一块透明亚克力板，侧插六个球铰关节，下平台使用两块透明亚克力切割板容纳舵机，六台低压大力舵机通过卡齿固定在下平台内，使用金属外齿连接金属舵机臂驱动连杆。支腿通过球铰连接上平台铰点，保证运动自由度。

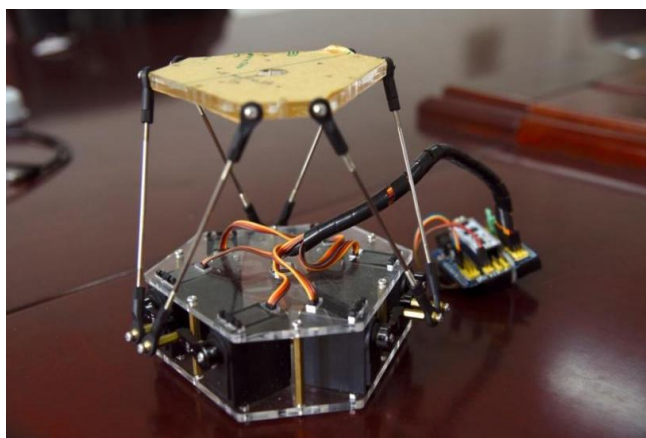


图1 Stewart Platform整体展示

### （二）平台所需软件环境

实验软件环境包含系统仿真软件MATLAB和模拟飞行软件Flightgear。FlightGear是一款广为人知的飞

行模拟软件，与其他同类型的商业软件的最大区别便是其开源性。通过JSBSim内核强大真实的飞行仿真能力，FlightGear吸引了数以万计的爱好者和开发人员。通过预留的外部接口和开源的软件框架，用户、飞行员、开发者可以各种方式来不同程度地驾驶、编译整个飞行过程和软件本体，也已经有许多的科研人员使用FlightGear作为其飞行仿真研究中的可视化引擎。而本文将借助FlightGear优秀的JSBSim飞行动力学模块作为仿真的软件端动态实现，通过FlightGear的开源接口调用飞行数据驱动Stewart平台构建硬件在环仿真。

## 三、教学案例设计与实施

### （一）本教学案例目的

本案例教学设计贯彻以学生为中心的教育理念，强调以学生为主体，在教师主导下分小组进行探究式实验。通过设计循序渐进的多层次教学环节和虚实结合的教学模式，让学生主动投入到实验教学中去，将学生合作探究与教师及时指导反馈相结合，让学生在分析、讨论、思考、实践与重构的多次迭代中培养综合设计与创新能力。

### （二）本教学案例实施过程

课前预习：将虚拟仿真实验引入课前预习环节，突破时间与空间的限制，学生可充分运用碎片化时间自主学习探索，基于虚拟仿真实验的直观化、可视化，进一步巩固加深学生对实验中涉及的理论知识的理解、熟悉实验中涉及的仿真模块和硬件模块，为后续实验奠定基础；

课堂讲解：根据预习结果了解学生对理论知识的了解程度，有针对性地查漏补缺；对实验中可能遇到技术要点问题进行启发和讨论，为学生开展实验提供知识支撑。

分组讨论：根据学生学习情况保证平衡性，每组5-8名学生形成实验团队开展实验。通过小组协作实验的方式，培养学生团结协作精神，同时也可以强带弱促进所有学生共同进步学习。

综合设计：分多个步骤层次推进综合设计，学生利用所学内容，针对工程实际需求和问题自主选题搜集资料，运用所学知识和方法解决新的问题，从而激发学生的积极主动性，更深层次培养学生的创新思维。

## 四、教学案例设计结果

硬件在环虚拟仿真系统搭建完毕后，需要对仿真结果进行验证，通过仿真进行系统的程序调试和结构调

整。要求学生分布采用多个递进的仿真算例展示了仿真系统的仿真情况。

(一) 基本动作仿真

通过导出的.csv飞行日志文件和UDP协议传输两种方式将飞机动作数据输入Simulink,每次仿真时阻断其他方向上的信号,可以验证在各自由度上的基本动作仿真情况。

本次仿真选用Cessna 172P小型飞机,其X、Y、Z轴向运动如下。



图2 X轴正向位移(飞机右转复合运动中的X轴分量)

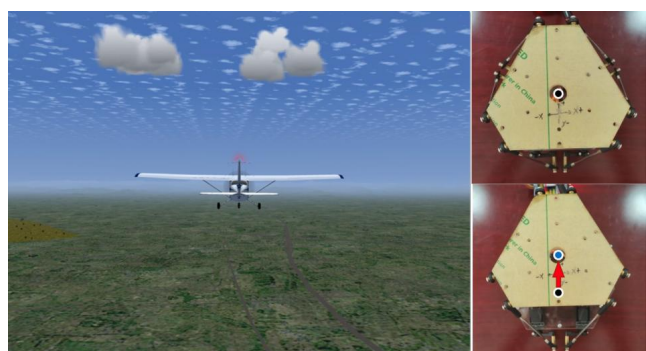


图3 Y轴正向位移(通过加减混油阀门实现)

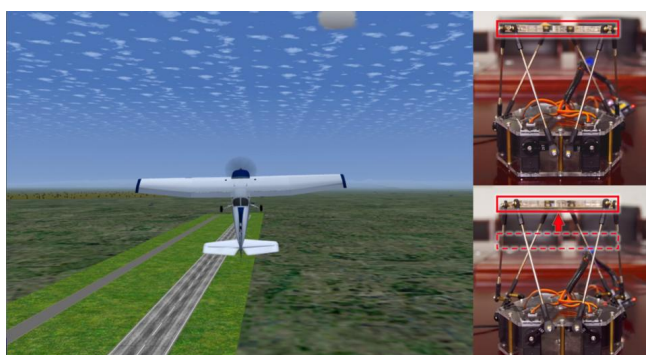


图4 Z轴正向位移(飞机俯仰运动中的Z轴分量)

结语

通过该教学项目中的飞行系统的虚拟仿真实验,使

学生对飞行器动力学、飞机系统原理、Matlab、航空计算机基础等多门课程的知识点得以巩固、应用得到扩展。实现虚拟仿真课程与理论课程的有机结合,明确或有利于航空专业课程的理论与实践教学的有效组合方式。

参考文献

[1]王卫国,胡今鸿,刘宏.国外高校虚拟仿真实验教学现状与发展[J].实验室研究与探索,2015,34(05):214-219.

[2]邓磊,段福洲,李家存,王艳慧,毛智慧.虚拟仿真实验教学模式探索——以无人机航测综合实习为例[J].科技创新导报,2019,16(35):234-237.

[3]许微.虚拟现实技术的国内外研究现状与发展[J].现代商贸工业,2009,21(02):279-280.

[4]余文胜,吕新颖,胡士强.浅谈航空航天工程方向虚拟仿真实验教学[J].教育教学论坛,2020(02):376-377.

[5]李荣强,文爱兵,花斌,李嘉骏,姜兵.航空装备虚拟维修训练仿真模型快速开发技术[J/OL].系统仿真学报:1-9[2020-11-06].

[6]赵俊峰.无人机航迹规划虚拟视景仿真系统设计[D].南昌航空大学,2019.

[7]卢燕梅,宗群,张秀云,鲁瀚辰,张睿隆.集群无人机队形重构及虚拟仿真验证[J].航空学报,2020,41(04):248-259.

[8]杨森,席雷平,高喜俊,郑翌洁.基于模拟训练的无人机实战能力培养方法研究[J].中国教育技术装备,2019(15):38-40.8.

作者简介:高翔(1983.1—),男,汉族,籍贯:天津,副教授,博士学位,研究方向:航空发动机稳定性,飞行器虚拟仿真教学。

基金项目:1.中国交通教育研究会2020-2022年度交通教育科学研究课题《基于开源虚拟仿真实验平台的无人机专业实践教学新模式研究》,课题编号:205.

2.山东省2022年本科教学改革研究项目《以赛促教思政融合智慧评价:飞机总体设计课堂教学改革与实践》,项目编号:Z2022306.

3.山东交通学院2020年校级科研基金项目《基于FlightGear的无人机半物理仿真平台设计与应用》,项目编号:Z202013.