

航天器虚拟仿真实践课程创新设计与应用

——以哈工大小卫星班贯通式课程为例

刘天喜¹, 魏承¹, 田浩¹, 梁磊¹, 叶楠²

¹哈尔滨工业大学航天学院, 黑龙江 哈尔滨

²哈尔滨工业大学本科生招生办公室, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年8月12日; 录用日期: 2024年9月13日; 发布日期: 2024年9月23日

摘要

针对我国高校航天专业人才培养过程中存在的问题, 哈尔滨工业大学小卫星班面向大三本科生开设了仿真实践类专业课《航天器与自主智能系统创新设计》, 创新性提出并形成了SpaceSim软件官网开放社区学习模式和自媒体自我创作型学习模式, 采用案例式教学, 从姿轨控与空间环境等基础知识到通导遥载荷特性等应用知识, 利用国产航天器系统仿真软件SpaceSim编制了40个仿真案例并上传至软件官网开放社区, 建立了师生之间、学生之间、同行之间的学术交流平台, 促进和激发了学生们同团队教师在线研究和探讨仿真实验问题的兴趣, 提高了授课质量。课程以学生提交的大作业为考核项目, 提出“自主进阶式任务想定”教学模式并引入自媒体评价机制, 学生通过自媒体展示和讲解自己的大作业, 锻炼了学生的项目构建与表达能力, 有效提升了学生完成作业的积极态度与认真程度, 对提升授课效果起到了重要作用。最后, 该课程的授课模式、课程内容以及仿真工具已被其他高校航天专业课以及空天智能应用挑战赛所借鉴和采用, 验证了该课程创新设计理念的应用实践性与有效性。

关键词

航天专业课, 仿真实践, 官网开放社区学习, 自媒体自我创作型学习, 小卫星班

Innovative Design and Application of Spacecraft Virtual Simulation Practice Course

—Taking the Through Course of HIT Small Satellite Class of HIT as an Example

Tianxi Liu¹, Cheng Wei¹, Hao Tian¹, Lei Liang¹, Nan Ye²

¹School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang

²Office of Undergraduate Admission, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang

文章引用: 刘天喜, 魏承, 田浩, 梁磊, 叶楠. 航天器虚拟仿真实践课程创新设计与应用[J]. 教育进展, 2024, 14(9): 776-783. DOI: 10.12677/ae.2024.1491728

Abstract

In view of the problems existing in the training process of space professionals in Chinese universities, the small satellite class of Harbin Institute of Technology opened a professional course of simulation practice “Innovative Design of Spacecraft and Autonomous Intelligent System” for junior undergraduates, and innovatively proposed and formed the SpaceSim open community learning model and the self-creative learning model of we-media, using case teaching. From the basic knowledge of attitude and orbit control and space environment to the application knowledge of communication, navigation and remote sensing load characteristics, 40 simulation cases were compiled by SpaceSim, a domestic spacecraft system simulation software, and uploaded to the open community of the software’s official website, establishing an academic exchange platform between teachers and students, students and peers, which promotes and stimulates students’ interest in online research and discussion of simulation experiments with team teachers, and improves the quality of teaching. The course takes the large assignments submitted by students as assessment items, proposes the teaching mode of “independent advanced task planning” and introduces the we-media evaluation mechanism. Students display and explain their large assignments through we-media, which exercises students’ ability of project construction and expression, effectively improves students’ positive attitude and seriousness in completing assignments, and plays an important role in improving the teaching effect. Finally, the teaching mode, course content and simulation tools of this course have been used for reference and adopted by other aerospace professional courses in universities and Space Intelligence Application Challenge competitions, which verifies the application practicability and effectiveness of the innovative design concept of this course.

Keywords

Space Professional Courses, Simulation Practice, Open Community Learning on the Website, Self-Creative Learning from We-Media, Small Satellite Class

Copyright © 2024 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

哈尔滨工业大学面向国家重大需求以及航天领军人才培养，成立了院士特色班——“小卫星班”，在课程体系建设中，参考了麻省理工等国际知名高校项目驱动的人才培养方式，以及以学生为中心的教学理念，构建了一系列贯通式培养课程，包括大一年度“航天器与自主智能系统认知”、大二年度“航天器与自主智能系统设计”、大三年度“航天器与自主智能系统创新设计”、大四年度“航天器与自主智能系统顶点项目设计”。该课程体系以实际航天工程项目为依托，使学生在大一通过认知类课程对航天器与自主智能系统具备基本了解，大二时通过设计类课程完成基础知识储备，大三时通过创新设计课程完成分析工具的学习以及对工程问题的自主研究，大四时通过顶点项目设计实现一个完整工程项目的研究。其中，大三年度的“航天器与自主智能系统创新设计”作为小卫星班的专业课，为虚拟仿真实践课程，是理论付诸于实践的关键衔接类课程，对学生学以致用以及建立工程师思维至关重要。

航天类专业课通常与航天工程背景结合紧密，航天专业教学体系包括种类繁多的学科领域和专业子系统、众多的协作单位和复杂的集成关系，相关知识抽象性较强，理解难度大，对于对航天器相关对象

以及运行机理了解不多的大三年级本科生,很难在短期内迅速掌握专业课知识,因此在教学方法上应积极寻求创新,多引入仿真、样机、动画、案例等手段,进行辅助教学,使学生通过具象化的教学与实践深入掌握理论知识[1]。目前,一些高校教师分别针对卫星研制全流程的总体课程设计[2]、轨道机动教学[3]、航空航天基础力学[4]、航天导航应用[5]、基于视觉的飞行器信息处理[6]等方面开展了教学方法上的探索与创新,取得了相应的研究成果,验证了仿真案例式教学在航天类专业课教学中的可行性。

但我国高校航天专业人才培养过程中仍广泛存在下列问题:

① 传统教学过程中学科之间“专业壁垒”较大,教学内容更迭缓慢,现代科研进展及内容涉及不足,存在填鸭式授课等问题;

② 航天专业仿真教学体系涉及大型复杂系统仿真,缺少能够为虚拟卫星仿真服务的、高效的、可快速配置的仿真引擎以及仿真教学工具。

上述问题容易造成航天专业大三本科生在学习专业课时理解困难、缺乏主动性,不利于培养学生的科研思维。本文以哈工大卫星班贯通式课程《航天器与自主智能系统创新设计》为例,介绍该课程在航天器虚拟仿真实践方面的创新设计与教学应用成效,为航天专业领军人才的培养提供新思路。

2. 航天器虚拟仿真实践课程创新设计

2.1. 课程设置概述

贯通式课程《航天器与自主智能系统创新设计》主要面向哈工大卫星班大三本科生,针对本科阶段所学的航天技术概论、航天器轨道动力学、航天器姿态动力学、空间环境等相关基础理论知识进行应用扩展与综合,达成以下培养目标:

① 知识方面,使学生深入理解空间环境、航天器轨道姿态动力学等基础知识以及在航天器通信、导航、遥感等方面的应用,掌握航天器系统仿真技术的工程思想与理论知识;

② 能力方面,面向航天工程常见的卫星通信、导航、遥感,导弹攻防,火箭运载等任务,培养学生以工程任务为导向的科学研究能力,使学生熟练掌握 SpaceSim 等航天器系统仿真软件的使用;

③ 素质方面,使学生理解航天器系统仿真技术在航天器设计以及航天工程任务中的重要作用,掌握卫星、火箭、导弹等航天器设计与仿真的基本方法及常用工具,使学生具有总体设计眼光,在未来具备独立完成航天器总体或分系统相关科研课题的能力。

课程内容设置上,包括航天器系统仿真软件 SpaceSim 介绍、时空系统、航天器轨道动力学与仿真、航天器姿态动力学与仿真、空间环境建模与仿真、火箭与导弹仿真技术、航天器通信特性基础与仿真、航天器导航特性基础与仿真、航天器遥感特性基础与仿真、面向工程任务的航天器系统仿真。课程内容包含了从姿轨控与空间环境的基础知识到通导遥载荷特性的应用知识,并采用案例式教学,在每节课均以 PPT 形式图文并茂地展示理论知识与相关仿真案例的关联及仿真结果,根据课程布置仿真任务,学生自主搭建仿真场景,分析案例,培养学生理论与实践相结合的能力,并在最后介绍课程相关知识在工程实际任务中如何应用,布置自主命题大作业,令学生以即时航天任务或合理自创的航天任务为背景,自主设计任务目标、内容、流程并自主开展相关设计、仿真、分析,形成项目报告,作为课程考核依据。

该课程的授课过程中,创新性提出并形成了 SpaceSim 软件官网开放社区学习模式和自媒体自我创作型学习模式,对提升授课效果起到了关键作用。

2.2. 仿真工具与官网开放社区学习模式

2018 年以来,美国对我国禁运了 Satellite Tool Kit、SATSOFT 等商业软件,对我国的航天基础教育与工业研究带来较大困难。本课程的建设基于教学团队自主研发的 SpaceSim 仿真软件,以航天器智能应

用为目标,在理论授课的同时开展航天器遥感、通信、导航等智能应用及航天器轨道机动与博弈对抗等仿真实践教学,旨在使学生充分理解航天器从设计到研制的全过程,将理论知识转化为实践应用,结合所学理论知识,发散思维进行创新设计,培养学生实践、思辨、协作、创新等能力;同时使学生熟悉自研国产航天器系统仿真软件 SpaceSim,既能为学生学习该课程提供有效的仿真手段,又能够为未来科研任务搭建一套具有影响力和适用性的工业级软件。

本课程仿真实践采用的航天器系统仿真软件 SpaceSim,依托于航天科研院所支持,由哈尔滨工业大学自主研发、完全国产,突破了国外 STK 等软件对我国禁运的技术封锁,各功能模块使用不受限制,支持航天器姿态轨道动力学与控制、导航星座设计与信号特性、通信卫星覆盖及干扰特性、空间光学遥感成像、星座任务规划与调度、空间博弈对抗等系统仿真,涵盖航天器设计、测试、发射、运行和任务应用等各个阶段,已成功应用于高校教学、科研院所及国防单位的工程任务,正逐渐在教学实践、型号设计、体系应用、评估演训等领域发挥重要作用。航天器系统仿真软件 SpaceSim 入选了 2023 版国家科技创新成果推荐目录,并以工信部十四五规划教材《航天器系统仿真技术》作为软件配套教材,如图 1 所示。

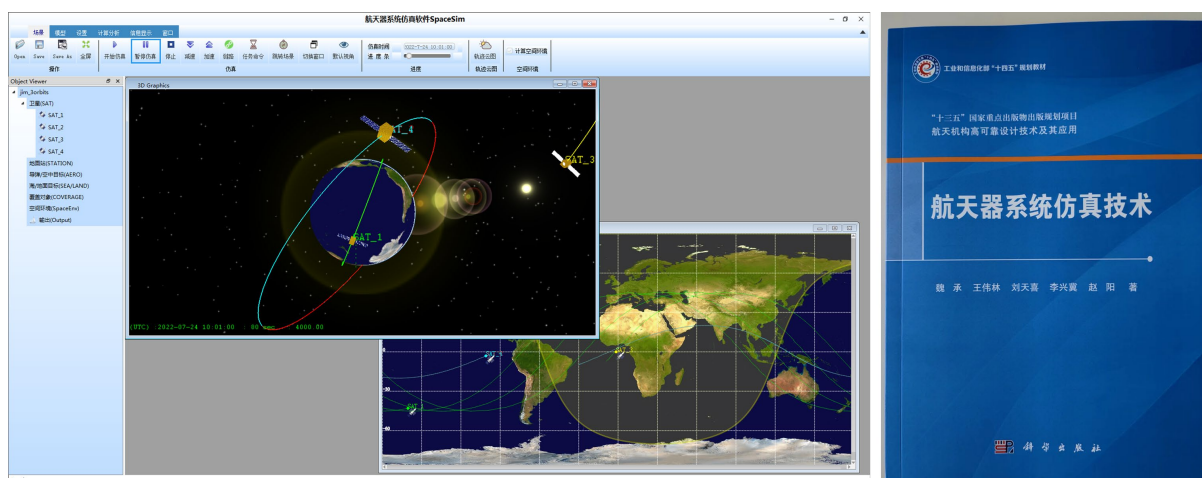


Figure 1. SpaceSim software interface and the accompanying textbook

图 1. SpaceSim 软件界面及配套教材

将课程中的实验内容编制成多个独立的仿真案例,每个案例提供实验任务书,使学生明确案例目标、实现过程与分析结论,结合学生学号特点布置仿真作业,使每个人的作业原理相同但参数不同,实现统一学习、差异化管理。案例类型包括:

- ① 航天器太阳同步轨道、冻结轨道、回归轨道仿真;
- ② 航天器轨道机动、姿态机动仿真;
- ③ 近地空间环境仿真;
- ④ 通信、导航、遥感及星座构建、覆盖性仿真;
- ⑤ 通过第三方软件联合构建自定义场景仿真;
- ⑥ 以实际工程任务衍生的典型应用场景仿真。

课程依托 SpaceSim 软件官网[7]打造了开放学习社区,将以上案例编制为 40 个独立的仿真案例并录制了演示视频,学生可重复收看学习,同时操作软件进行实际操练。官网开放社区展示了 40 个仿真案例的简介、软件的典型应用以及获取方式,开放下载的软件版本中嵌入了该 40 个案例的场景文件,有助于向学生开展答疑解惑、任务探讨、任务点评等服务,可及时、全面、互动地指导学生,也便于行业爱好者

Demo 0101 Orbit Basic Demo 0102 Orbit GEO Demo 0103 Orbit ModelCom Demo 0104 Orbit SunSyn Demo 0105 Orbit FrozenMolniya Demo 0106 Orbit FrozenSeasat1 Demo 0107 Orbit FrozenOmegaCom Demo 0108 Orbit Repeat Demo 0201 Trans Monopulse Demo 0202 Trans Hohmann Demo 0203 Trans DoubleEllipse Demo 0204 Trans PhaseAdjust Demo 0205 Trans DiffPlane Demo 0206 Trans Lambert Demo 0301 Atti DirSunEarth Demo 0401 Envi Atmo DiffAlti Demo 0402 Envi Atmo DiffAngle Demo 0403 Envi Magni Demo 0404 Envi Radi Demo 0405 Envi Debris	Demo 0406 EnviCollisionTest Demo 0501 Missile GroundTarget Demo 0502 Missile SpaceTarget Demo 0503 Rocket Launch Demo 0601 ANT Cover Demo 0602 ANT PointCtrl Demo 0603 ANT CommDisturb Demo 0701 Route Walker Demo 0702 Navi Walker Demo 0703 Navi GPS Demo 0704 Navi Glonass Demo 0705 Navi Galileo Demo 0706 Navi Beidou Demo 0707 Navi GPSBeidou Demo 0708 Navi IRNSS Demo 0801 CoverEffi Demo 0802 RS ImageBasic Demo 0803 RS ImageCtrl Demo 0804 RS Inspect Demo 0805 RS SpaceObserve	哈尔滨工业大学 Harbin Institute of Technology 航天器与自主系统创新设计 上机实践任务书 题目 1: 变轨方式对比 任课教师: 刘天喜 航天学院航天工程系 2022 年 11 月
--	--	--

Figure 2. Simulation practice cases and an assignment book
图 2. 仿真实践案例与任务书示例

对软件和相关知识进行学习与探讨。软件内嵌的 40 个仿真案例场景及教学任务书示例如图 2 所示。

2.3. 自媒体自我创作型学习

课程最后以学生提交的大作业为考核项目，提出“自主进阶式任务想定”教学模式和方法，由学生自主设计或选定大作业仿真场景，利用所学理论知识与 SpaceSim 软件实现大作业仿真，录制大作业讲解视频并提交研究报告。

为提高学生学习积极性、思考工程问题的主观能动性、对待科学问题的严谨性，本课程充分利用现代自媒体的影响，设计了基于自媒体的评价机制，学生将仿真实验作业录制成视频，配音讲解大作业的实验背景、目的、操作过程以及分析结论，同时动态展示大作业的运行效果，将视频发布至 B 站、抖音等自媒体网站，供同行点评。老师根据学生上传的展示视频以及提交的大作业研究报告，合理设计评分细则进行课程成绩考核。

该考核与评价手段的革新，充分利用了仿真实验的动态展示优势，以及当代大学生对网络与自媒体的熟知运用，在对外展示的促进作用下，可有效提升学生完成作业的积极态度与认真程度，更进一步促进学生对于专业知识的掌握，同时锻炼学生的项目构建与表达能力，提升综合素质。图 3 所示为某学生在 B 站展示的其大作业情况，以及国内同行在收看之后的评价。由评价可知，国内同行对哈工大卫星班同学的作业效果表达了称赞与关注，对航天器系统仿真软件在航天方面的应用现状展开了讨论，并充分肯定了 SpaceSim 在工业软件国产化进程中发挥的作用，还有部分学者直接通过自媒体与学生建立联系，探讨航天技术，希望展开学术交流，使学生的学习兴趣有了显著提升。

3. 课程效果与应用推广

该课程打造的“官网开放社区学习 + 自媒体自我创作型学习”的培养模式，显著提升了学生学习的积极性，B 站上基于该软件的虚拟仿真实验作品得到了巨大关注，截至 2024 年 2 月 25 日，收获了 42191 次点击率，并获得广泛好评，为学生在业内建立了良好的学术沟通机制。学生课内成绩也取得了令人满

意的效果,截至2024年春季,该课程已完成哈工大20级、21级小卫星班的授课任务,得到学生一致好评,两届本科生该课程平均分达到90分以上。同时,授课教师通过该课程也积累了丰富的教学经验,并验证了数字化教学与新型多媒体手段融合的可行性,有助于对其他课程进行推广和指导。此外,航天器系统仿真软件SpaceSim也在业内收获好评,截至2024年2月25日,SpaceSim软件官网得到了1000余次软件下载量,该软件为国内高校航天专业教学与科研均提供了重要的虚拟仿真系统技术支撑,目前清华大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、北京理工大学、西北工业大学等一批高校已逐渐采用该软件开展航天类专业的教学工作,如图4所示。



Figure 3. We-media presentation and evaluation of a student's homework

图3. 大作业自媒体展示与评价



Figure 4. SpaceSim software is used to teach in an another university

图4. 国内高校使用SpaceSim软件进行教学

基于该课程中的航天器遥感特性基础与仿真教学单元以及SpaceSim软件,由中国宇航学会、哈尔滨工业大学联合主办的第一届空天智能应用挑战赛专门设计了“空间目标运动感知”赛道,参赛者利用SpaceSim软件,在举办方给定的仿真场景中,通过观测卫星,对多个目标卫星进行拍照定轨,及时准确

地感知其变轨行为。全国各高校及科研院所共 26 支队伍报名参加了该赛道，其中哈尔滨工业大学各有 1 支队伍获得了该赛道的一等奖和三等奖，如图 5 所示。此次竞赛是该课程教学内容付诸于实践应用的典型案例，值得其他课程与竞赛借鉴。

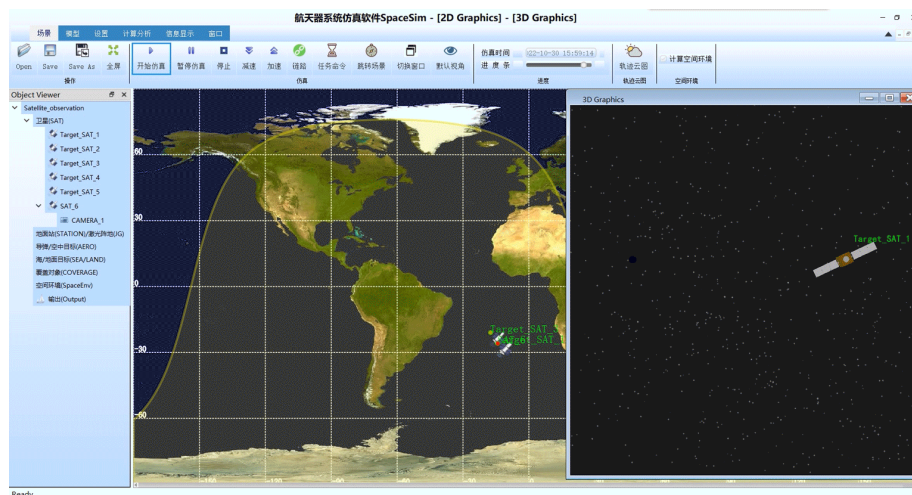


Figure 5. Space target motion sensing track winner

图 5. 空间目标运动感知赛道冠军作品

4. 结论

本文介绍了哈工大大小卫星班贯通式课程《航天器与自主智能系统创新设计》的课程设置以及提出的“官网开放社区学习 + 自媒体自我创作型学习”培养模式，其中，官网开放社区学习模式将课程内容编制成 40 个独立仿真案例，通过航天器系统仿真软件 SpaceSim 官网，充分建立了师生之间、学生之间、同行之间的学术交流平台，促进和激发了学生们同团队教师在线研究和探讨仿真实验问题的兴趣，在提高授课质量的同时也使国产软件 SpaceSim 得到了应用推广。自媒体自我创作型学习模式则充分利用了当代大学生对网络与自媒体的熟知运用特点，使学生可以充分展示自己的作品，全面提升航天专业学生自主实践创新能力。该课程在航天类专业授课模式上取得了创新，教学经验已得到两届本科生教学效果验证，并被其他高校所参考，课程内容衍生的工程问题被第一届空天智能应用挑战赛所采用，充分肯定了该航天器虚拟仿真实践课程的创新设计与实践应用。

基金项目

黑龙江省高等教育教学改革一般研究项目“面向航天领军人才培养的航天器虚拟仿真实践课程建设”(SJGY20220007); 黑龙江省高等教育教学改革重点委托项目“‘小卫星班’拔尖人才培养模式探索与实践”(SJGZ20210017)。

参考文献

- [1] 周敏, 周军, 郭建国. 新工科背景下航天专业课程教学改革创新与实践[J]. 中国现代教育装备, 2022(5): 85-87, 98.
- [2] 廖鹤, 翁程琳, 余萌, 等. 围绕卫星研制全流程的总体课程教学方法探索[C]//教育部高等学校航空航天类专业教学指导委员会. 第三届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2022: 6.
- [3] 王卫杰, 张雅声, 姚红, 等. 航天器轨道机动教学内容改革研究[J]. 高教学刊, 2024, 10(15): 11-14.

-
- [4] 王晓花, 刘杰, 李文辉, 等. 基于航空航天专业的基础力学课程教学初探[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2021(3): 110-112.
 - [5] 王鼎杰, 张洪波, 吴杰. 航空航天类专业课程实践教学改革研究——以航天导航应用项目课程为例[C]//教育部高等学校航空航天类专业教学指导委员会. 第三届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2022: 7.
 - [6] 崔林艳. 航天特色案例式教学改革探索——以视觉 SLAM 基础为例[J]. 中国教育技术装备, 2024(10): 33-36.
 - [7] SpaceSim 软件官网. 航天器系统仿真软件 SpaceSim [EB/OL]. <https://spacesim.readthedocs.io/en/latest/>, 2023-08-30.