

面向实战化教学的舰艇火控原理虚拟仿真实验设计与实践

陈维义, 罗 云, 程 晗, 刘 健

海军工程大学, 兵器工程学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2021年11月16日; 录用日期: 2021年12月15日; 发布日期: 2021年12月22日

摘要

根据《舰艇火控原理》课程实战化教学改革需求, 采用虚拟仿真技术和基于模型的数据驱动技术, 构建了人机交互式舰艇火控原理虚拟仿真实验。从教学目标设计、实验设计、实验考核设计和核心仿真要素设计四个方面研究了舰艇火控原理虚拟仿真实验设计内容。从实验实施过程、实验方法、实验特色与创新、实验教学效果等四个方面研究了实验运用与实践相关内容。实践表明: 舰艇火控原理虚拟仿真实验解决了《舰艇火控原理》课程实验手段不足的现实问题, 提高了课程实战化教学效果。

关键词

舰艇火控原理, 虚拟仿真实验, 人机交互

Design and Practice of Virtual Simulation Experiment of Ship Fire Control Principles for Practical Teaching

Weiyi Chen, Yun Luo, Han Cheng, Jian Liu

College of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan Hubei

Received: Nov. 16th, 2021; accepted: Dec. 15th, 2021; published: Dec. 22nd, 2021

Abstract

According to the needs of practical of “Ship Fire Control Principles” Curriculum, a man-machine interactive virtual simulation experiment of ship fire control principles is constructed by using virtual simulation technology and model-based data-driven technology. The content of virtual si-

文章引用: 陈维义, 罗云, 程晗, 刘健. 面向实战化教学的舰艇火控原理虚拟仿真实验设计与实践[J]. 创新教育研究, 2021, 9(6): 1835-1841. DOI: 10.12677/ces.2021.96307

mulation experiment design of ship fire control principles is researched from four aspects: teaching objective design, experimental design, experimental examination design and core simulation element design. The application and practice of the experiment is researched from four aspects: the implementation process of the experiment, the experimental methods, the experimental characteristics and innovation, and the experimental teaching effect. The practice shows that the virtual simulation experiment of ship fire control principles solves the practical problem of insufficient experimental means in the course of “Ship Fire Control Principles”, and improves the practical teaching effect of the course.

Keywords

Ship Fire Control Principles, Virtual Simulation Experiment, Man-Machine Interactive

Copyright © 2021 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

舰艇火控系统是舰艇武器系统神经中枢和大脑，复杂程度高、操作难度大，对操作人员的理论基础和训练水平都有较高的要求。随着舰艇火控系统信息化、自动化、智能化水平的迅猛发展，传统的以理论教学为主的灌输式教学方法，已经无法满足课程教学和军事高等教育与首次岗位任职“融合培养”的实战化教学需求[1]。为此，《舰艇火控原理》课程教学团队以“为战抓教”的实战化教学改革理念和需求为牵引，以实战化教学方法手段改革为抓手，着眼解决院校不具备舰炮海上实弹射击教学和训练条件，舰炮实弹射击面临海战场环境变化大，武器弹药消耗大，目标保障难度大，训练成本高，实验安全性、重复性差等现实问题，以舰艇火控系统信息处理流程和舰艇火控装备的操作规范为依据，面向舰艇武器对空、对海作战火力控制全过程，创新运用三维虚拟场景动态模拟技术和基于火控模型的数据驱动技术，有针对性地对舰艇火控系统的运动目标轨迹处理、武器射弹运动轨迹计算、舰艇武器射击诸元解算以及射击校正等具有鲜明火控特色的场景及信息处理过程进行动态展示，并通过图形、表格、文字、3D 动画等多种形式直观呈现不同交互操作及参数设置对实验结果的影响，提高学生对舰艇火控原理的感性认知和理性思考。配合多种作战想定案例库，可以灵活设置实验条件，打破现有课程实验的时空局限性，增加实验的高阶性、创新性和挑战度，有利于培养学生自主发现问题并解决问题的能力。实验的模块化设计和在线测试功能，可满足学生循序渐进、边学习边考核的学习需求；实验的记录功能有助于教师对学生实验情况的了解和掌握，并有针对性地优化实验教学设计。

2. 舰艇火控原理虚拟仿真实验设计

2.1. 教学目标设计

在习主席强军目标重大战略思想指导下，军队院校坚持“为战抓教，教战为战”教学训练理念，贯彻落实《军队院校教育条例》，大抓教育教学改革，推进教育向实战聚焦、向部队靠拢，为部队培养“能打仗、打胜仗”的高素质新型军事人才[2]。为此，课程教学团队在规划建设《舰艇火控原理》课程实验时，运用现代信息网络技术和虚拟仿真技术，创设贴近实战的虚拟仿真实验教学平台，以打牢基础、提升能力、强化素质为根本，设计实现下列课程教学目标。

2.1.1. 知识目标

通过舰艇火控原理虚拟仿真实验，使学生掌握以下 8 个知识点[3]：

- 1) 舰艇火控常用坐标系定义和坐标平移变换原理和方法；
- 2) 坐标旋转变换原理和方法；
- 3) 目标跟踪测量噪声；
- 4) 目标跟踪数据卡尔曼滤波原理和方法；
- 5) 火控解命中原理和解命中方程求解方法；
- 6) 弹道气象修正原理和方法；
- 7) 弹着符号法人工校射原理和方法；
- 8) 虚拟射、闭环校射等射击校正原理和方法。

2.1.2. 能力目标

课程教学团队始终将实战化教学理念贯穿于教学中，创设学为主体、贴近实战的实验教学条件，充分调动学生的学习兴趣、主动性、积极性和创造性。通过虚拟仿真实验，培养锻炼学生形成如下能力：

- 1) 典型舰艇武器火力控制系统的分析、判断和推演能力，形成自主学习新型舰艇武器火力控制系统功能、原理和运用能力；
- 2) 初步建立武器系统的整体概念，自觉运用系统工程理论和方法，提高分析问题和解决问题的能力；
- 3) 在专业业务、指挥、组训管理和学习创新能力上有较大提升，提高学生的岗位任职能力和火控装备的战术运用能力。

2.1.3. 素质目标

通过本实验课程的学习和课程思政教育，使学生能够在海军转型发展建设中养成严谨、求实、拼搏、创新的工作态度，具备系统顶层的专业视角和全局融合的专业素质，并形成良好的科学素养、人文精神和创新意识。

2.2. 舰艇火控原理虚拟仿真实验设计

舰艇火控原理虚拟仿真实验系统由图 1 所示的四个实验模块组成，既可以用于学生进行交互式虚拟仿真实验操作和知识点学习，又可以进行理论考核和实操技能考核。系统采用国际主流虚拟现实制作工具 Unity 3D，用虚拟现实技术将实验项目、实验场景 3D 形式展现。模块四的典型实验场景如图 2 所示。

2.2.1. 模块一——舰艇火控信息基础知识

该模块为基础性实验。设计了“坐标系认知”“坐标变换”两部分实验内容。第一部分在三维场景中呈现了常用火控坐标系，学生可以学习和观察掌握坐标系的定义和特征；第二部分中，学生可根据共原点的两坐标系之间的角度关系输入变换矩阵进行坐标旋转变换，根据两坐标系原点之间的位置关系进行坐标平移变换，通过反复练习，掌握坐标变换的原理和方法。

2.2.2. 模块二——舰艇火控信息跟踪数据处理

该模块为设计性实验。设计了“典型目标及运动特性”“目标跟踪数据录取”“滤波处理”三部分实验内容。第一部分在三维场景中展示了导弹等典型目标的航路特征，学生可了解和掌握火控中典型目标的运动特征和运动假设；第二部分可由学生施加目标运动噪声和目标跟踪过程中雷达等传感器的观测噪声，获得对目标跟踪录取噪声的感性认知；第三部分通过对目标跟踪录取数据进行滤波处理并观察滤波效果，加深学生对火控滤波原理、效果和方法的理解。

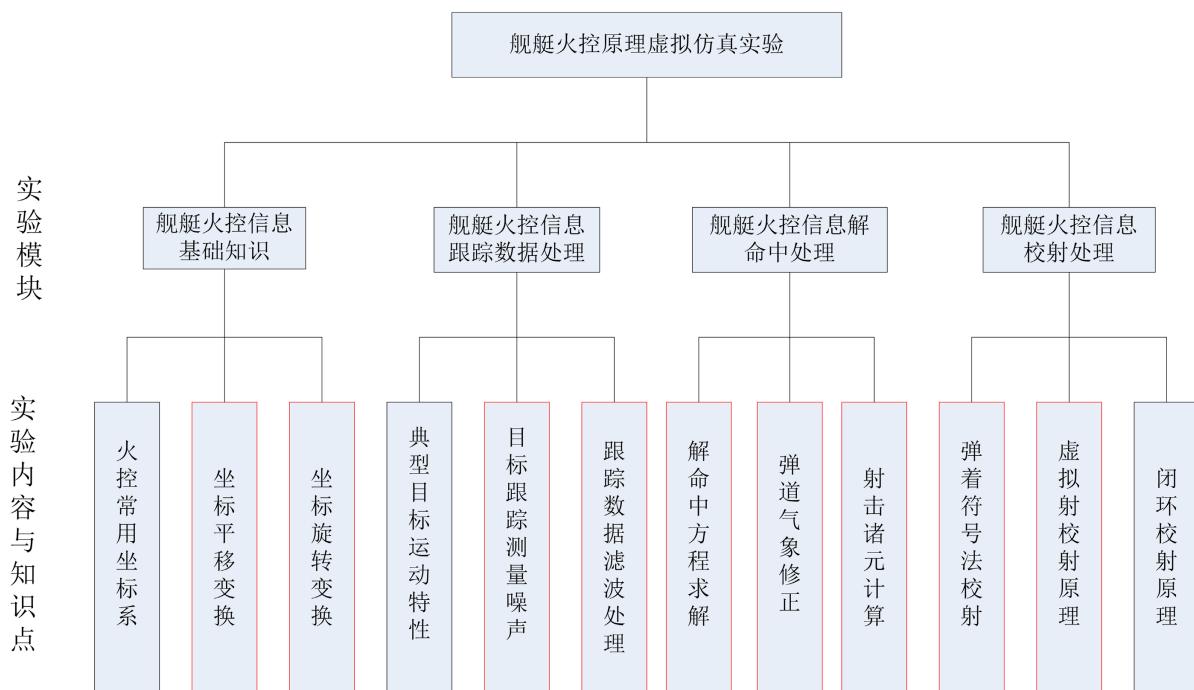


Figure 1. Composition of virtual simulation experiment of ship fire control principles
 图 1. 舰艇火控原理虚拟仿真实验组成

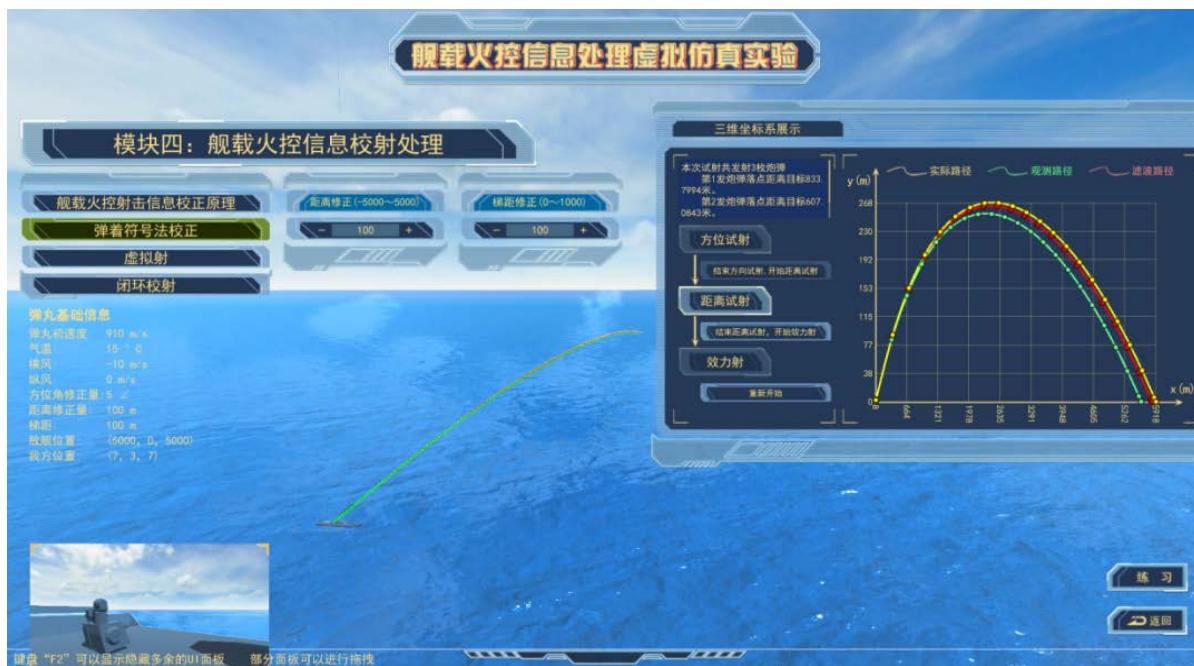


Figure 2. Experimental scene of module four
 图 2. 模块四的实验场景

2.2.3. 模块三——舰艇火控信息解命中处理

该模块为研究性实验。设计了“解命中”“弹道气象修正”“射击诸元计算”三部分实验内容。第一部分采用龙格库塔法、迭代法对弹道微分方程组和解命中方程组进行数值求解，学生可输入迭代步长

并调用 MatLab 算法进行解命中计算,通过反复实验,加深对火控解命中精度和速度的理解;第二部分重点呈现弹丸初度、空气密度、温度、风速风向对弹道的影响,学生可输入相应修正量,观察弹丸的运动轨迹,通过反复实验加深对弹道气象修正原理和方法的理解;第三部分的重点是求解不稳定甲板坐标系中的舰炮射击诸元,学生输入舰艇航向角、纵摇角、横摇角,实验平台自动调用 MatLab 算法计算输出射击诸元,并实现舰炮调转。

2.2.4. 模块四——舰艇火控信息校射处理

该模块为综合性实验。设计了“方位试射”“距离试射”“虚拟射”“闭环校射”四部分实验内容。第一部分是弹着符号法方向试射,学生根据弹丸落点输入射击诸元校正量进行方位试射,消除方位角偏差后结束方位试射;第二部分采用同样的方法进行距离试射;第三部分根据弹丸落点的方位和距离偏差量自动计算出射击修正量,试射后可观察虚拟校射结果;第四部分以理论教学形式展开。通过上述实验,可以加深学生对校射原理和方法的理解和掌握。

2.3. 实验考核设计

按照舰艇火控原理课程实验教学特点和能力培养要求,虚拟仿真实验采取综合型考核方法[4],按照“60%线上实验操作”+20%“线上测验”+20%实验报告”的实验成绩评定方法,对学生进行多维度、多角度的考核与评价。线上实验操作主要考核学生实验熟练程度、操作规范性、实验步骤的合理性和操作速度等指标;线上测验通过填空题、选择题等形式对知识掌握程度进行考核;实验报告主要考核实验报告撰写的规范性和表达情况、实验图表、实验数据处理方法、实验心得体会等内容。

2.4. 核心要素仿真设计

本实验的仿真对象包括海战场环境,水面舰艇、飞机、导弹等典型海空目标,舰炮武器和弹丸等多种类型的实体,为了实现场景的构建,首先应建立这些对象的实体模型,其次要赋予实体功能和运动规律,最后在场景中真实再现具有特定的结构特征、功能特征和运动规律的各种实体,达到“以虚仿实,以实为基”的目的。

本实验仿真中所用到模型和算法包括坐标平移变换算法、坐标旋转变换算法和卡尔曼滤波滤波算法等多种算法,这些算法主要通过系统后台的 MatLab 进行计算,记录相应的运算结果或输出数据点集,并利用 Unity 3D 软件调用这些点集数据生成以曲线图表示的目标跟踪滤波结果。

本实验中弹丸的弹道计算涉及弹道微分方程组、解命中方程组等数学模型,为了对其进行求解,我们采用四阶龙格库塔法进行弹道微分方程组的求解。采用简单迭代法和改进迭代法对解命中方程组进行求解,求解由 MatLab 完成计算,Unity 3D 软件调用 MatLab 计算数据,并在场景中展现弹道轨迹。学生可选取不同的迭代步长进行反复实验,通过对比可以分析迭代步长对迭代速度和精度的影响,较好地体现了实验的探究性和推演性。

3. 舰艇火控原理虚拟仿真实验运用与实践

3.1. 实验方法

本实验的实验方法可归纳为以下三种:“案例认知式”实验方法、“探究式”实验方法和“验证式”实验方法,下面举例加以说明。

3.1.1. “案例认知式”实验方法

在舰艇火控信息基础知识实验模块中,根据坐标系的不同,坐标变换有很多种方法,本实验采用卡

尔丹角法进行坐标变换。根据两个坐标系之间的位置关系不同，有时需要两次旋转变换，有时需要三次旋转变换，由于实验时间限制，我们仅将相对地理参考系变换为不稳定舰艇参考系的变换过程作为典型案例进行坐标变换实验，并要求学生掌握旋转变换顺序和变换矩阵。这样，其他形式的坐标变换就可以举一反三。

3.1.2. “探究式”实验方法

在舰艇火控信息解命中处理模块中，我们采用控制变量法进行“探究式”实验。首先，在 MatLab 中，我们利用龙格库塔法、简单迭代法和改进快速迭代法对解命中方程组求解；其次，在人机交互中，将迭代步长作为变量，学生通过多次改变步长，利用图、表对比分析迭代步长对解命中方程组求解速度和精度的影响，加深了对模型、算法的精度和求解速度之间的辩证关系的理解。

3.1.3. “验证式”实验方法

在舰艇火控信息校射处理模块中，学生先进行炮弹试射，观察弹丸落点，然后根据弹丸落点的偏差量，输入射击诸元修正量，再次进行试射，并观察弹丸落点，验证校射结果是否达到预期效果。这种“验证式”实验方法可以让学生体验舰炮校射的过程，且具有一定的趣味性。

3.2. 实施过程

3.2.1. 理论教学

教师首先进行舰艇火控原理相关内容的理论教学，并在此基础上，讲解虚拟仿真实验系统各功能模块的设计原理，然后针对虚拟仿真实验进行理论与实践相结合的讲解，使学生明确理论与实际的对应关系，了解实验的关键内容和步骤。结合线上教育资源素材库，安排线上培训，为学生提供线上学习指导。

3.2.2. 线上虚拟仿真实验

线上虚拟仿真实验以舰艇火控信息处理虚拟仿真实验平台为核心，根据课堂理论教学的进度，适时指导学生进行“舰艇火控信息基础知识”模块、“舰艇火控信息跟踪数据处理”模块、“舰艇火控信息解命中处理”模块、“舰艇火控信息校射处理”模块的虚拟仿真实验，也可以在课程理论讲授后，利用实验课进行舰艇火控原理的虚拟仿真实验。

3.2.2. 线上实验测评考核

通过各模块理论学习和实操练习后，学生已基本掌握实验相关内容，实验教师通知学生在固定的时间段，完成实验操作、实验测评和实验报告，虚拟仿真实验系统将对学生的操作过程和答题情况进行自动详细记录，教师根据实验结果、答题情况和实验报告和体会进行实验成绩综合评定。教师可针对实验考核结果进行统计分析，进一步提出持续改进方案，为下一轮实验开设做铺垫。

3.3. 课程特色与创新

3.3.1. 课程特色

- 1) “系统化 + 模块化”的实验方案设计。实验根据“传感器——火控设备——武器”的舰炮武器系统火力控制信息流的系统化设计思路，采取“模块化”设计结构，构建了不同层次难度的实验内容体系，使学生通过虚拟仿真实验达到对课程知识点的掌握和运用。
- 2) “案例认知式 + 探究式 + 验证式”的实验教学方法设计。根据实验内容特点、能力素质培养要求和教学实施策略，构建了符合认知规律和学生特点的实验教学方法体系。
- 3) “线上实验操作 + 线上测验 + 实验报告”的实验考核评价方法设计。根据多维度、多角度的考核评价原则，综合考虑实际操作、理论运用和总结分析能力，构建了科学、合理的实验考核评价体系。

3.3.2. 课程创新

- 1) 实现了传统课程实验教学方法的重要突破。针对课程实验教学短板弱项,运用虚拟仿真实验技术,实现了课程实验方法的多样化,解决了课程教学中的目标滤波处理、解命中、校射等重难点问题,实现了《舰艇火控原理》传统课程实验教学的重要突破。
- 2) 实现了对传统实验教学模式的延伸和拓展。构建的“开放共享”实验教学平台,使“网上虚拟实验”成为现实,学生由被动接受式学习变为主动探究式学习,顺应了在线学习的时代趋势[5]。
- 3) 技术上具有创新性。综合运用三维虚拟场景动态模拟技术和基于火控模型的数据驱动技术,将数学模型的 MatLab 计算结果以点集的形式导入 Unity 3D 软件驱动实体模型,技术上具有创新性。

3.4. 实验教学效果

从实验效果看,学生普遍反映舰艇火控原理虚拟仿真实验能够将“看不见,摸不着”的火控信息流,利用虚拟仿真技术客观、真实、生动地表现出来,极大地激发了学生的主动学习兴趣,枯燥的理论变成了有趣的动手实作,实验的“沉浸感”“体验感”和“趣味性”明显增强,体现了“教室就是实验室”“课堂对接战场”的理念,让学生充分领略和感受到了现代信息化军事教育方法的魅力,在学生心中播下了创新的种子,极大地激发了他们科技兴军、科技强军的内生动力和“能打仗”“打胜仗”的决心和信心。

舰艇火控原理虚拟仿真实验有力地促进了传统的“知识传授型”教学模式向“知识构建型”教学模式的转变,学生由被动学习向主动学习转变,教学方法由“灌输式教学方法”向“自主式教学方法”转变,教学评价由单一评价向知识、能力、素质综合评价转变,在培养学生的实作能力、创新能力方面产生了良好的实验教学效果。

4. 结论

舰艇火控原理虚拟仿真实验能够将《舰艇火控原理》课程的主要知识点串联起来,利用虚拟仿真技术进行客观、真实、生动再现,加深了学生对火控原理和关键技术的理解,提高了《舰艇火控原理》课程的实验水平,具有重要的应用价值。

参考文献

- [1] 陈维义,傅冰,陈华东,等.《舰艇火控原理》课程实战化教学改革与实践[J].教育进展,2021,11(6): 2246-2250.
<https://doi.org/10.12677/ae.2021.116349>
- [2] 游宝义,王继东,文泽波.实战化教学概论[M].北京:国防大学出版社,2016.
- [3] 傅冰,石章松,卢发兴,等.《舰艇武器火控基础》[M].北京:国防工业出版社,2017.
- [4] 虚拟仿真实验教学创新联盟技术工作委员会.虚拟仿真实验教学课程建设与共享应用规范(试用版) [EB/OL].
http://cloudvse.com/www/activity_layout/rule, 2020-11-03.
- [5] 赵铭超,孙澄宇.虚拟仿真实验教学的探索与实践[J].实验室研究与探索,2017,36(4): 90-93.