

# 基于VR背包的无人机吊卸模拟训练系统设计

刘长亮<sup>1</sup>, 郑幸<sup>1</sup>, 苏兴<sup>2</sup>, 林冬生<sup>1</sup>, 吴思思<sup>1</sup>, 何中柱<sup>1</sup>, 梁少军<sup>1</sup>, 郑海涛<sup>1</sup>

(1. 陆军工程大学 军械士官学校特种装备系, 湖北 武汉 430075;

2. 中国人民解放军 32151 部队, 河北 邢台 054001)

**摘要:**搭建基于VR背包的虚拟现实训练系统,实现立体、逼真、精细的无人机吊卸模拟训练,解决无人机机务操作实装训练教学存在的风险高、难度大、限制多、效率低等问题。该文通过研究模拟训练系统的硬件结构和软件框架,探索物理仿真及网络协同训练机理,系统梳理无人机吊卸训练流程。运用三维建模软件、Unity 3D 软件完成了吊卸过程中环境、装备、人员动作的虚拟仿真与考核方法,并配合 HTC VIEW 头盔和手柄实现了多人网络协同虚拟操作和实战环境干扰因素的模拟。验证了基于VR背包和头盔的模拟训练系统逼真模拟无人机机务操作的有效性。

**关键词:**虚拟训练;VR;无人机;模拟训练;网络协同;Unity 3D

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2022)0057-04

## Design of UAV Crane Simulation Training System Based on VR Backpack

LIU Chang-liang<sup>1</sup>, ZHENG Xing<sup>1</sup>, SU Xing<sup>2</sup>, LIN Dong-sheng<sup>1</sup>, WU Si-si<sup>1</sup>,

HE Zhong-zhu<sup>1</sup>, LIANG Shao-jun<sup>1</sup>, ZHENG Hai-tao<sup>1</sup>

(1. Department of Special Arms, Ordnance Non-Commissioned Officers Academy,

Army Engineering University of PLA, Wuhan 430075, China;

2. Troop 32151 of PLA, Xingtai 054001, China)

**Abstract:** A virtual reality training system based on VR backpack was built to realize stereoscopic, realistic and exactitude UAV crane operating simulation training and solve the problems of high-risk, high-difficulty, too much restrictions and poor efficiency existing in the actual training teaching of UAV maintenance operation. The hardware structure and software framework of the simulation training system were studied, the mechanism of physical simulation and network collaborative training was explored, and the UAV crane operating training process was systematically arranged. The three-dimensional modeling software and Unity3D was used to complete the virtual simulation and operation assessment methods of environment, equipment and personnel actions in the crane operating process, and with the helmet and handle of HTC-VIEW to realize simulation of interference factors in multi-person network collaborative virtual operation and actual combat environment. Availability of the simulation training system based on VR backpack and helmet for virtual training of UAV maintenance operation was provided.

**Key words:** virtual training; VR; UAV; simulation training; network cooperation; Unity 3D

## 0 引言

现代无人机装备集成度高,某型无人机发射储运车便综合了3架无人机的储存、运输和发射任务,其随车吊活动半径大、吊卸作业高度高,协同操作极易发生机体磕碰、人员伤亡等重大事故,吊卸操作已成为制约其快速反应能力的首要因素。

但是无人机吊卸训练作为一项经验性很强的科目,其性质与狙击手的训练类似,操作手的肌肉学习与手眼协调必须通过大量的训练才能达到相应的水平。

因此目前的实装训练存在着投入大、效率低、需要专人专时辅导、受场地及天气约束等多缺点,训练极为不便,完全不能满足数百人规模的培训需求。针对传统培训方式的不足,基于虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术的培训方式受到科研人员的广泛关注<sup>[1]</sup>,学员能够在逼真的虚拟环境中进行协同训练,快速掌握装备协同操作技能<sup>[2]</sup>。文献[3]开发了虚拟吊车仿真系统,但缺乏沉浸感,无考核评估功能,且运动简单不够逼真。文献[4]开发的虚拟挖掘机无法自由行走,且

收稿日期:2021-05-30

基金项目:中国人民解放军陆军发展论证项目(LJ20191C020418)

作者简介:刘长亮(1979-),男,讲师,硕士,研究方向为可拓学、无人机技术与运用、虚拟现实/增强现实应用技术。

缺乏柔性机构的仿真。该文将采用 VR 背包+VR 头盔+操纵器的方式,通过细致充分的建模与仿真,实现高度还原的虚拟仿真训练系统。

## 1 VR 背包的应用特点

VR 背包是专门用于 VR 领域的背包式便携电脑的简称,具有性能高、重量轻、配套全、与 VR 头盔匹配好等特点。可方便操作人员灵活移动,提供真实训练感受;具有屏幕映射功能,可在头盔内操作电脑;支持多个 4K 屏幕扩展输出,特别适合 VR 模拟训练系统使用。

基于 VR 背包的模拟训练系统可在 VR 头盔内定位装置的支持下实现人员在现实世界自由活动映射到虚拟世界的同步运动,完成人员精细运动和虚拟操作的仿真,具有桌面三维、万向跑步机不可比拟的真实感。因此,在这类训练中采用 头盔式虚拟训练仿真系统,模拟沉浸感更强的虚拟场景,且有利于提高训练效果<sup>[5]</sup>。

## 2 系统整体功能框架

## 2.1 系统结构

根据无人机吊卸训练的需求分析,系统硬件采用多层结构体系作为架构形式,分为基础设施层、数据层、应用支撑层、应用层和展现层,目标是完成对虚拟仿真软件提供环境支持,结构如图1所示。

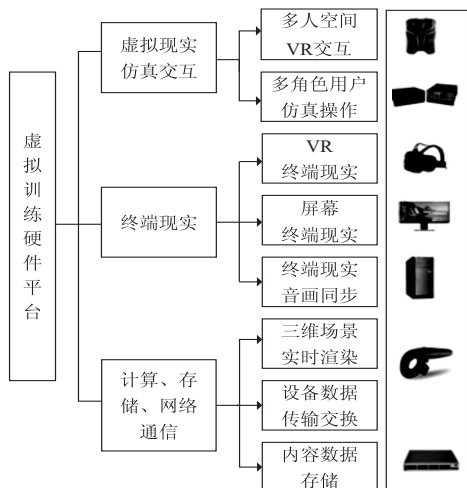


图 1 虚拟仿真系统平台结构

系统软件利用虚拟现实技术包括三维建模、物理仿真、通讯控制等,发挥虚拟现实技术提供的沉浸性和交互性,使学员能够在逼真的学习环境中扮演岗位角色,专注地投入到科目学习与训练中,有利于其技能的培养。虚拟训练所用的操作采用操纵器与无线操作手柄的方式完成交互,实现 VR 虚拟仿真训练,能够保证学员的现场感与操作真实性,软件运行过程中输出相应的操作提示,训练结束后能够了解某型无人机发射

运输车吊卸操作科目的具体操作步骤。系统的总体架构如图 2 所示。



图 2 系统总体架构

## 2.2 功能模块

· 登录管理模块。根据不同的岗位设置学习权限,建立管理人员和参训人员(教员、主操作手、副操作手等岗位)完整信息库,采用选择框、复选框和填入式的方式进行信息录入和采集。管理人员在登录后,可以对参训人员信息进行录入和查找,并且根据人员变动及时更新。

· 虚拟训练模块。采用可交互的方式进行,包括场景展示、模型动画仿真、突发事件模拟处理、场景信息说明等。场景展示方面,受训人员可以采用漫游镜头和自主行走两种方式体验整个实战场景;模型动画仿真方面,主要是行为动作仿真和战场环境仿真等;突发事件模拟处理方面,模拟在紧急情况下的任务处置;场景信息说明,主要介绍训练科目的机体安装、卸载以及飞机吊装训练等内容和注意事项。

·考核评估模块。不实时显示操作步骤,同时增加考核计分功能<sup>[6]</sup>,基于碰撞检测形成扣分点,某次操作错误所需扣的分数根据该次操作在整个训练中的重要地位决定<sup>[7]</sup>。结合操作用时要求、操作精度要求等,利用基于关系的 SQL 技术形成培训与考试数据库,每一名学员的操作都可以自动记录到数据库中形成一张个性化的数据表。

### 3 系统关键技术

### 3.1 训练流程设计

无人机吊装训练包括拟制训练方案,基于仿真模型库组装无人机吊装场景中涉及到的多人协同训练、人员角色实体、无人机发射系统实体、工具器材实体、机体安装、飞机吊装和状态装换场景实体,其中训练场景可根据训练科目选择,训练科目开始后,参训人员根

据情况采取相应的处置操作,在方案执行条件下,参训人员执行完计划任务后训练结束,训练流程如图 3 所示。

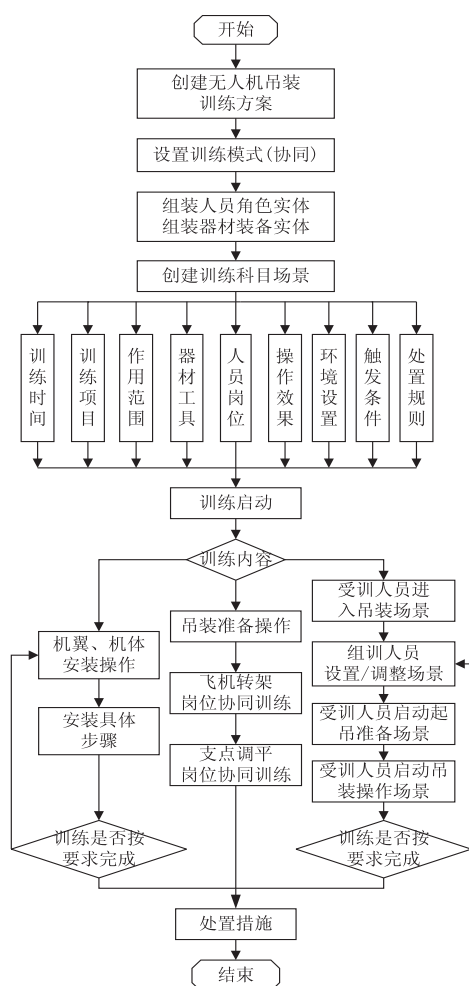


图 3 无人机吊卸场景训练流程

### 3.2 吊装的动力学模拟

吊装是本系统的关键功能。无人机通过钢丝绳与吊钩连接,吊钩又作为吊车五级力臂的末端,并且钢丝绳还通过卷扬机构具备伸缩和弯曲的运动特性,因此整个系统的动力学模拟较为复杂。

吊车的五级力臂作为刚体,虽活动较多,但运动方式相对单一,实现起来难度不大。关键是钢丝绳的运动,它作为柔性体一方面具有独特的运动特性,另一方面要作为无人机与吊车之间的联系纽带,要实时适应两端的动力学要求。

对于钢丝绳的仿真,传统的建模手段主要有三种<sup>[8-9]</sup>:利用轴套力建模、利用 Polyline 建模和利用刚性细实杆代替。还有利用 ODE 结构化刚体<sup>[10]</sup>进行模拟的系统,将其看作由一段段刚体组成,然后通过数学模型给每段刚体的位移和角度进行赋值,使刚体保持各自独立的运动,从而整体上表现出绳索的柔性运动。

上述手段对钢丝绳的建模仿真在实际运用中均存在不同程度的瑕疵,因此本系统选择与 Unity3D 兼容

的 Obi 插件来实现。通过 GameObject/3D Object/Obi 的菜单调用过程,即可创建一根可调节参数的绳索实体。由于本系统中为钢丝绳,不能被撕裂和延长,不需要额外的颗粒来模拟绳索的断口及伸展。因此为绳索创建的额外粒子数 Pooled Particles 设置为 0。由于钢丝具有较强的弹性和刚性,因此在约束开始之前允许的弯曲量 Max Bendind 应设置为 0 或小于 0.04 的低值来使模拟出来的虚拟绳尽量保持直线,还原钢丝绳的真实状态。

进入 Edit Particle 界面后选中绳的下端编辑点,通过 Add in Constraint 添加吊钩来实现钢丝绳对吊钩的绑定,即完成一个完整的吊绳-重物系统。

### 3.3 协同训练的网络实现

协同训练是本项目的一个突出功能。模拟训练系统的多个实例运行在不同的机器上,而且推广应用之后,这些机器可能位于多个相距遥远的地点,那么这些协同训练实例之间的同步和通信就是一个关键问题。Unity3D 内嵌了 Unet 网络组件来实现此功能,具有良好的可操作性。

Unet 网络组件要实现多名学员协同训练需要搭建网络环境,主机 HOST 用于运行服务器程序,服务器 Server 连接所有客户端。一般将二者角色由一台计算机担任,即运行服务器程序并管理同步所有客户端的协同对象和状态。其网络执行操作<sup>[11]</sup>如图 4 所示。

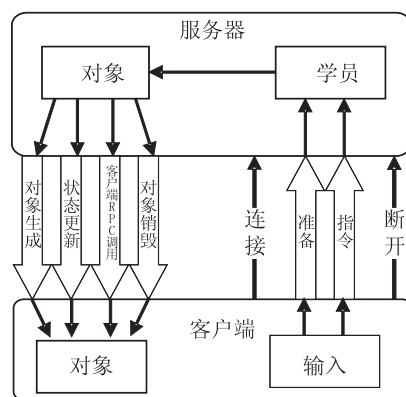


图 4 Unet 组件网络执行操作

其软件实现方法是在场景内的空物体上添加组件 Network Manager 和 Network ManagerHUD 组件。它们分别是核心管理组件和 UI 显示组件,是密不可分的两个关键要素。在场景角色上添加 Network Identity 组件,使得该角色可以在网络上生成并同步到其他客户端,从而为多人协同奠定基础。再给角色添加 Network Transform 组件,使得该角色的位置 position、方向 rotation、大小 scale 等属性同步到其他客户端。这样即可实现各个客户端协同训练的效果。

### 3.4 干扰因素的模拟与实现

野战环境中,由于作战时机与作战环境的不确定



性,导致无人机发射阵地准备时可能会受到外界风力、光线甚至物理空间干涉的影响,不可避免地对任务执行产生干扰。为了更加真实模拟战场环境、贴近实战训练,该文基于 Unity 3D 的物理引擎,构建无人机吊卸模拟系统干扰场景。

#### 3.4.1 光直射人眼的模拟

在室外操作时直射操作员眼睛的阳光以及室内操作时屋顶的灯光均会对吊卸操作形成严重的干扰。系统从实际出发来模拟该因素的作用过程,来提高受训者在不同光照强度下吊装的熟练度。利用 Unity3D 中的点光源模拟室内操作条件下房顶灯泡,利用方向光模拟阳光对吊装的影响,调整光源的角度和强弱来模拟从黄昏到正午、从阴天到晴天的各类天气状况以及室内多个照明灯对吊卸操作的干扰。

#### 3.4.2 墙壁立柱等物理限制的模拟

在虚拟仿真系统中,碰撞检测的实现是评价沉浸式系统仿真逼真度的关键因素<sup>[12]</sup>。在飞机吊装场景中,无人机通过钢丝绳与吊钩连接,具有一定的不稳定性,飞机的机翼尖端、尾撑末端、头部空速管等极容易与周围的墙壁、立柱、路灯、树木等形成碰撞。因此在吊卸任务的交互设计中,必须十分重视精确的碰撞检测。碰撞检测算法是以尽可能的减少检测次数为优先的,目前应用最广泛的是层次包围盒方法<sup>[13]</sup>。利用层次包围盒法,利用 Unity3D 引擎中的盒子碰撞体、胶囊碰撞体、球体碰撞体等基本碰撞体进行组合构建,包裹住形状复杂的飞机机体进行碰撞检测。通过包围盒进行预检测是提高物体碰撞检测算法效率的重要手段<sup>[14]</sup>。在检测时通过判断包围盒是否相交来确定包围盒内的物体碰撞状态,相较于网格碰撞体而言,可极大提高运算效率<sup>[15]</sup>。

#### 3.4.3 风吹扰动的模拟

野战环境中风力对于吊装任务的影响较大,极易造成飞机摆动损伤机翼、舵面等部位。Unity3D 引擎中有 2 个方法可以模拟该情景,一是常量力组件,利用 `addForce()` 方法来添加力的作用,设定施加力的方向、大小和位置<sup>[16]</sup>。但是该方法产生的力缺乏变化,不能充分的体现风力的扰动特性。二是利用风场组件。从 Hierarchy 面板中选择 Create/3D Object/Wind Zone 以添加风场,根据力学规律影响飞机运动,从而实现对风力干扰的模拟。经实践验证,模式属性 Mode 选择 Directional 方向风,风力属性 Main 选择 1,湍流属性 Turbulence 选择 1,扰动幅度 Pulse Magnitude 属性应选择 0.5,扰动频率属性 Pulse Frequency 选择 0.01。上述取值也可为轻风、和风、强风的选择模式来提升训练的灵活性。

## 4 结束语

该文基于 VR 背包设计的无人机吊卸模拟训练系统,规划系统整体架构与训练流程重点研究了吊装的动力学模拟、多人协同的网络实现与干扰因素的模拟。实践证明,该系统可以较好地模拟无人机吊卸过程,效果逼真,科学合理,可以较好地满足训练需求,为无人机机务操作人员的培训提供了一种新的有力手段。

#### 参考文献:

- [1] 程伯文,郑一力,黄青青,等. 基于 Unity3D 的林木联合采育机虚拟训练系统研究[J]. 系统仿真学报,2018,30(4): 1310-1318.
- [2] 蔡启航,王洁,史通,等. 导弹装备分布式虚拟协同操作训练系统设计[J]. 传感器与微系统,2018,37(8):104-106.
- [3] 涂智明,许海波,许剑东,等. 基于 3DMax 和 VRP 的虚拟吊车仿真系统[J]. 武汉冶金管理干部学院学报,2014(1):70-72.
- [4] 宗安汉,贺利乐,王卫军,等. 基于虚拟交互的虚拟挖掘机操作系统研究[J]. 机械设计与研究,2020,36(2):175-180.
- [5] 刘鹏,姜国华,刘玉庆,等. 头盔式和桌面式虚拟训练系统与地图在导航训练中的对比评估[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2017,29(8):1515-1524.
- [6] 范志锋,徐敬青. 基于虚拟现实技术的末制导炮弹检测训练系统[J]. 计算机应用与软件,2019,36(2):139-143.
- [7] 赵伟,费琪. 基于 VR 技术的军用操控设备训练虚拟化技术[J]. 计算机技术与发展,2016,26(9):109-113.
- [8] 王定贤,殷亮,李颖,等. 钢丝绳的建模及动力学仿真分析[J]. 矿山机械,2010,38(8):20-23.
- [9] 方子帆. 钢丝绳类索结构模型的动力学仿真研究[J]. 起重运输机械,2009(2):71-75.
- [10] 杨洋,邢成欢,蓝盈,等. 火箭运输船协同吊装模拟训练系统的研究与实现[J]. 系统仿真学报,2013,25(9):2258-2262.
- [11] 乔纳森·林诺维斯. Unity 虚拟现实开发实战[M]. 童名,吴迪,译. 北京:机械工业出版社,2016:194-195.
- [12] 刘炜,陈宁. 基于碰撞检测的坦克运动与地形匹配性研究[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版,2012,26(4):356-360.
- [13] 王守尊,陈虎,郭聪. 基于 Unity3D 的舰载机虚拟训练系统设计[J]. 海军工程大学学报,2016,28(4):92-96.
- [14] 尹勇,林锦尧,郭国忠. 采用 VR 技术的集装箱吊装模拟器原型机的研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(2):258-260.
- [15] 李姜超. 血管介入手术 VR 训练系统碰撞检测特性及力学分析研究[D]. 北京:北京理工大学,2016.
- [16] 马遥,陈虹松,林凡超. Unity3D 完全自学教程[M]. 北京:电子工业出版社,2019:163.