

# 沉浸式虚拟维修训练系统设计与实现

张玉军<sup>1</sup>, 陈浩<sup>2</sup>

(1. 解放军69079部队, 新疆乌鲁木齐 830013; 2. 新疆军区后勤部, 新疆乌鲁木齐 830002)

**摘要:**为构建虚拟维修训练系统,设计了系统的框架和功能模块,分析了实现系统的关键技术;在对虚拟现实引擎和虚拟手人机交互分析的基础上,提出了沉浸式虚拟维修训练系统的集成技术框架;并以某型设备维修为目标构建原型系统,通过实际操作进行测试,结果表明系统可满足模拟训练的需要。

**关键词:**虚拟现实;人机交互;训练

**中图分类号:**TP391.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-5322(2017)02-0016-05

虚拟现实(Virtual Reality, VR),是人们通过计算机对复杂数据进行可视化操作与交互的一种全新方式,它以计算机技术为核心,结合其它相关科学技术(传感与测量、微电子、人工智能等),生成一个在视觉、听觉、嗅觉、触感等方面与实际环境高度近似的数字化环境,用户借助必要的装备与数字化环境中的对象进行交互,产生身临其境的感觉和体验<sup>[1]</sup>。由于虚拟现实技术具有逼真度高、临场感强、安全可靠、重复高效等优势,已广泛应用于公共安全、工业设计、医疗辅助、军事模拟、航空航天、交通规划和文化教育等领域。

根据用户在虚拟环境中的沉浸感以及与虚拟环境进行交互的参与程度,虚拟现实系统可以分为桌面虚拟现实(Desktop VR)系统和沉浸式虚拟现实(Immersive VR)系统<sup>[2]</sup>。与桌面虚拟现实相比,沉浸式虚拟现实系统将用户所处场景封闭,使用户完全置身于虚拟环境中,将人在现实世界中的各种行为和虚拟环境融为一体,使用户能够象

控制现实世界中的物体一样控制虚拟环境中的物体。沉浸式虚拟现实系统受外界干扰小,具有高度的沉浸感,用户容易形成持久专注力,将其应用于维修训练领域,可有效缩短训练时间,提高训练质量,节约训练费用<sup>[3]</sup>。

基于此,本文将基于沉浸式虚拟现实技术,采用目前较为先进的交互方式,构建模拟维修训练系统,为虚拟现实技术的应用提供一定参考。

## 1 系统框架及功能设计

面向维修训练的虚拟现实系统与面向产品设计的系统在目的和技术要求等方面有诸多不同,两者区别如表1所示<sup>[4]</sup>。虚拟维修训练系统通过有导师的引导式训练,使受训人员从基本原理开始学起,逐步掌握设备的组织结构、拆装步骤、工具及仪表使用方法、日常维护保养、典型故障排除和特殊情况处置,贴近实际的操作过程和逼真作业环境是其设计的重点。

表1 虚拟现实系统应用分类

Table 1 Classification of VR system application

分类	系统针对性	系统目的性	系统交互性	功能复杂性	过程可行性	模型精确性	场景拟实行
面向设计	产品	检验设计缺陷	较低	较单一	几何可行性	非常精确	较低
面向训练	受训人员	掌握维修技能	较高	较复杂	工程可行性	适当精确	较高

收稿日期:2016-09-20

作者简介:张玉军(1982—),男,吉林白山人,工程师,博士,主要研究方向为虚拟现实模拟训练系统开发。

### 1.1 系统架构设计

为满足虚拟维修训练的性能要求,系统总体架构设计如图 1 所示。其计算机硬件系统包括图形工作站、数据库服务器以及网络交换设备,为仿真计算、数据处理和信息交换提供底层支持;人机交互系统包括传统的键盘、鼠标,以及数据手套、光学动作捕捉等设备,可帮助受训人员实现对场景及虚拟物体的控制;场景展示系统除了包括显示器、头盔、投影等视觉系统外,还包括声音、嗅觉、感觉等模拟系统,为受训人员提供逼真的虚拟场景,增强系统的沉浸感;软件系统是整个训练系统的核心,起到系统驱动与综合集成的作用。

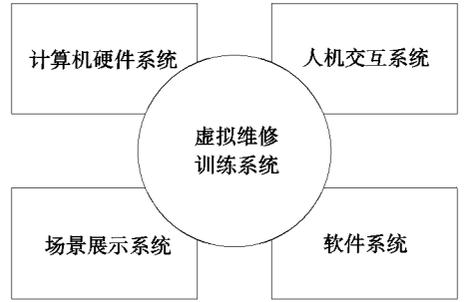


图 1 系统整体架构

Fig.1 Architecture of system

### 1.2 功能模块设计

维修训练系统一般具有理论学习、操作训练、

考核与评估等功能,主要包括管理设置、基础理论学习、实际操作训练、特情处置训练、考核与评估 5 大模块,如图 2 所示。

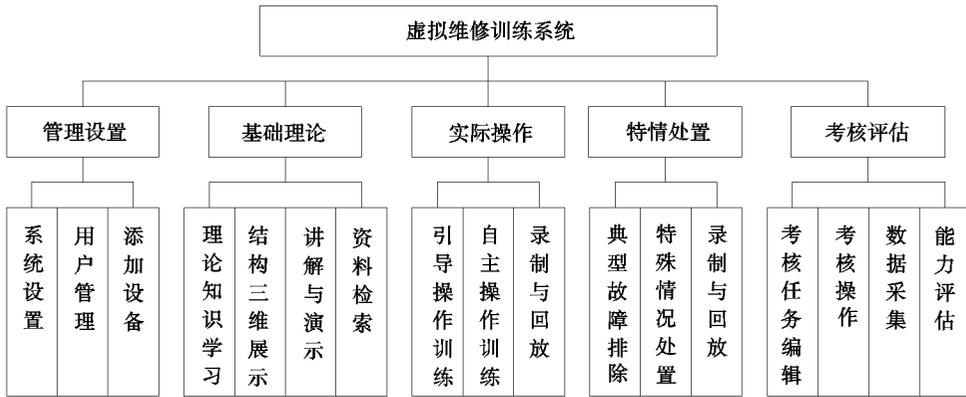


图 2 功能模块基本组成

Fig.2 Function module basic composition

(1)管理设置:负责管理及维护整个系统。用户根据使用权限,对系统进行访问,还可以添加新的维修训练设备。

(2)基础理论:以文字图纸、视频讲解、三维展示等方式系统地培训设备相关理论知识,并对维修进行可视化操作与展示,使受训人员从不同角度感受维修步骤与方法。

(3)实际操作:在理论培训的基础上,受训人员可通过实际操作虚拟物体的方式进一步提高维修能力。实际操作训练按照由易至难设计,体现在由引导到自主、由单个设备到整个系统的维修操作训练,并提供操作过程的录制与回放功能。

(4)特情处置:训练受训人员对设备典型故障的诊断和维修能力。设置若干危险、紧急、复杂的任务场景,锻炼受训人员特情处置能力,提供操作过程的录制与回放功能。

(5)考核评估:对受训人员的维修能力进行考核。系统对关键参数进行记录,根据评估模型对受训人员的综合能力进行评估。

## 2 系统实现的关键技术

### 2.1 场景构建技术

虚拟维修训练系统中的虚拟场景需要为受训人员提供一个逼真的、流畅的、高度沉浸的作业环境,特别是在特情处置中,否则无法产生预期的训练效果。由于人从外界获得的信息有 70% 以上来自视觉,15% ~ 20% 来自听觉,其它的感官占 10% 左右,因此,从人体感官出发,虚拟现实场景一般包括视觉、听觉、触觉和嗅觉等方面的模拟仿真。

在感官建模方面,视觉和听觉建模技术较为成熟,其余均在研究阶段。视觉建模的任务是对

场景中的各种实体、背景环境进行绘制和渲染,目前主要采用专业建模软件+虚拟现实引擎的方式实现专业。专业建模软件包括 3ds Max、Maya、Multigen-Creator、CAD 等,虚拟现实引擎有 Virtools、Quest3D、Unity3D 等。视觉建模可通过三维音效实现,而三维音效可以通过硬件和软件方式实现。硬件方式主要采用多声道立体声技术,例如杜比公司的 5.1 声道系统;软件方式主要是基于声音的虚拟重发技术。

## 2.2 人机交互技术

人机交互一直是虚拟现实系统研究的关键技术之一,虚拟系统的控制、场景的切换、虚拟物体的操作,都需要通过人机交互来实现。由于维修训练主要以人手操作为主,为此,文中主要讨论手部的人机交互技术。目前手部的人机交互技术主要有 2 种:一是通过手控输入设备实现交互,例如三维鼠标、力矩球、控制杆等<sup>[5]</sup>,这种交互方式较为单一,无法模拟较为复杂的手部动作;二是构建虚拟手通过手势实现交互,包括数据手套和基于视频的手势跟踪技术等。维修训练中手部动作复杂,选择虚拟手交互可满足各种性能要求。

## 2.3 拆装序列规划

设备零部件的拆卸与装配是进行维修训练的基础,拆装序列规划为拆装训练提供技术支持。从几何约束角度看,拆卸过程与装配过程在序列上基本可视为逆过程,而在实际操作中,装配过程对工艺性的要求较多,故系统以装配序列规划为主进行分析。拆装序列规划的方法主要有:基于图论的拆装序列规划、基于智能优化算法的拆装序列规划、基于知识的拆装序列规划和组件识别法规划虚拟拆装序列<sup>[4]</sup>。

## 2.4 系统综合集成

系统集成将不同通信接口、数据格式、交换方式的设备集成在一起,会产生许多意想不到的问题,例如流畅的画面会让用户在头盔中眩晕、逼真的音效会在不同空间中失效等。为此,需要利用规范数据格式、降低耦合度、分段测试等方法实现综合集成。

# 3 系统开发技术方案

## 3.1 虚拟现实引擎分析

虚拟现实引擎用于三维图形驱动的建立和应用动能的二次开发,负责整个虚拟现实场景的构建、运算、生成,同时是交互设备、头盔显示器及其

它感官模拟器进行集成的基础平台,在虚拟现实系统开发中处于核心地位。目前主流的虚拟现实开发平台有 Virtools、EON、Quest3D、Vega Prime、Unreal、Unity3D 等<sup>[6]</sup>。Unity3D 作为后起之秀,以其独特的优势,应用越来越广泛。

Unity3D 是一款跨平台的虚拟现实引擎,它使用 C#、JavaScript 等语言编写脚本,控制游戏对象,无需关心图形渲染过程,开发人员可以更加专心于功能的设计。对于沉浸式虚拟维修系统开发而言,Unity3D 具有以下 4 点优势。

(1) 高效的硬件集成能力。从 5. X 版本以后,Unity3D 为虚拟现实开发提供了全面的支持。在 Unity3D 设置面板 PlayerSettings 中勾选 Virtual Reality Supported 后,Oculus Rift、Gear VR 等头盔显示器可直接在软件中使用。此外,类似于 Leap Motion、Kinect 等各种典型交互设备也为 Unity3D 提供了开发包,可快速实现设备的集成与二次开发。

(2) 灵活的开发方式。Unity3D 项目主要由工程—场景—对象—组件 4 个层次构成。组件是最基本的单元,是实现一切功能所必需的,无论是模型、动作、摄像机、交互等,本质上都是一个空对象挂载了不同类别的组件。组件的模块化和复用性增加了系统开发的灵活性。

(3) 丰富的开发资源。在 Unity3D 项目开发中,模型、贴图、脚本、预设等统称为资源,需要放在 Assets 文件夹中,才能被 Unity 编辑器使用。在 Asset Store 中,有丰富的资源可以选择,例如角色控制的 Character,用户可根据需要直接下载使用。

(4) 跨平台开发能力。Unity3D 支持 20 多种软硬件平台项目的开发,用户可根据需要,将项目发布到 PC、Android、Web 等不同平台上,提高了项目开发和使用的灵活性。

基于上述优点,选择 Unity3D 引擎作为虚拟维修训练系统的开发平台。

## 3.2 基于虚拟手的人机交互分析

采用数据手套构建虚拟手,费用昂贵、手部受限感明显,而光学方式成本低廉、交互自然,故将其作为首选项。近年来,随着计算机软、硬件技术的发展,虚拟现实产业界推出了 Kinect、Leap Motion 等几款手部信息捕获设备。这几款产品成本低廉,非常适合作为普通虚拟现实系统应用中的人机交互设备。其中,Kinect 主要追踪中远距(0.5 ~ 4 m)的全身运动,而对于手部动作的细节信息跟踪不够,需要手臂配合表达<sup>[7]</sup>;Leap Motion 是一

个检测手势运动的传感器,体积小、成本低、扩展性强,可识别每根手指的位置、姿态、速度等参数,动作跟踪精度达 0.01 mm,可用于专业的手势交互系统。

Leap Motion 采用红外成像原理,通过内置的两个摄像头捕捉传感器上方 25 ~ 600 mm,大致呈倒立金字塔范围内的信息,如图 1 所示。工作时,Leap Motion 控制器会以大约 115 f/s 的帧速度发送关于手的运动信息。

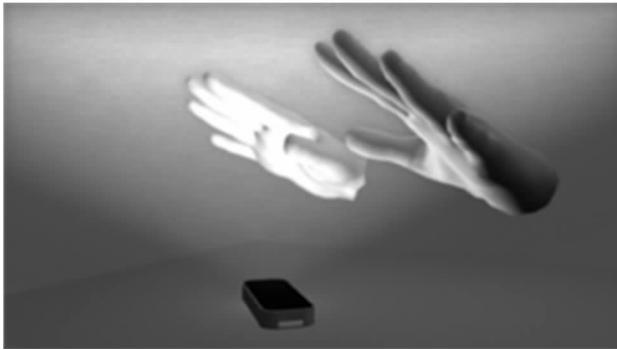


图 3 Leap Motion 工作示意图

Fig. 3 Work diagram of Leap Motion

在实际应用中,Leap Motion 为开发者提供了可进行二次开发的 SDK,支持 C++、Object-C、C#、Java、Python、Unity3D、Unreal 等多种编程语言和开发平台进行应用程序开发,目前,主要提供 Orion 和 V2 两个系列<sup>[8]</sup>。基于 Leap Motion 进行手势判断常用的功能类及方法如表 2 所示。

表 2 LeapSDK 中常用的手势判断类及方法

Table 2 Gesture recognition classes and methods of LeapSDK

类及方法	功能
Hand::IsLeft/IsRight	左右手判断。
Hand::PalmPosition	手掌位置信息。
Hand::GrabStrength	手掌抓取力度判断,平伸为 0,握紧为 1。
Hand::PinchStrength	拇指与其余手指捏取判断,手指张开为 0,捏取为 1。
Finger::IsExtended	判断当前手指是否伸展,展开为 true,反之为 false。
Finger::Type	手指类型判断,分别为:TYPE_THUMB、TYPE_INDEX、TYPE_MIDDLE、TYPE_RING、TYPE_PINKY。
Finger::TipPosition	手指指尖位置信息。

### 3.3 系统集成技术框架

在 Unity3D 中集成 Leap Motion 可通过 2 种

方法实现:一种是将含有 Leap.dll 和 LeapCSharp.NET.dll 的插件包 Plugins 复制到 Unity3D 工程的资源下;另一种是导入 CoreAssets.unitypackage 资源包,包里含有 Leap.dll 及手部模型的预设资源,同时将含有 LeapMotion 功能模块工具的资源包导入,通过模块工具调用 Leap.dll 数据。系统集成技术框架如图 4 所示。

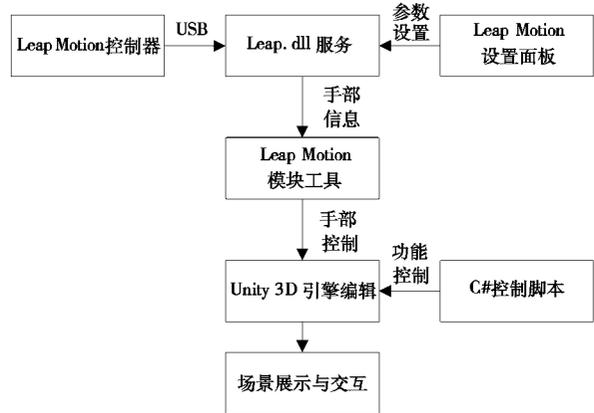


图 4 系统集成技术框架

Fig. 4 System integration technology framework

## 4 系统实现与测试

沉浸式虚拟现实系统主要有头盔式(HMD)、洞穴式(Cave)、空间球式(CyberSphere)等不同构建方式,考虑到部署灵活、经济适用等方面,采用头盔式虚拟现实系统构建某型设备的虚拟维修训练原型系统,并对其运行效果进行测试。

### 4.1 软硬件集成框架

原型系统硬件部分包括:联想图形工作站、浪潮服务器、头盔显示器(两款:Oculus Rift 和 Gear VR)、Leap Motion 光学手势跟踪设备。软件部分包括:模型开发需要的 3ds Max 和 Maya,图形图像处理软件 Photoshop,三维音效处理软件 Wave Editor。系统开发基于 Unity 5. X 虚拟现实引擎,控制脚本为 C#语言。整个框架如图 5 所示。

### 4.2 测试操作及分析

以某型简易卫星接收机为目标,在系统中通过操作虚拟手对设备进行拆卸维修,验证维修系统的可用性,其中,螺栓的拆卸过程如图 6 所示。通过拆卸操作,可以发现文中构建的虚拟维修系统能够实现预定目标的操作。

## 5 结束语

本文基于 Unity3D 将 Leap Motion 和头盔显示器等虚拟现实设备进行集成,构建了沉浸式虚

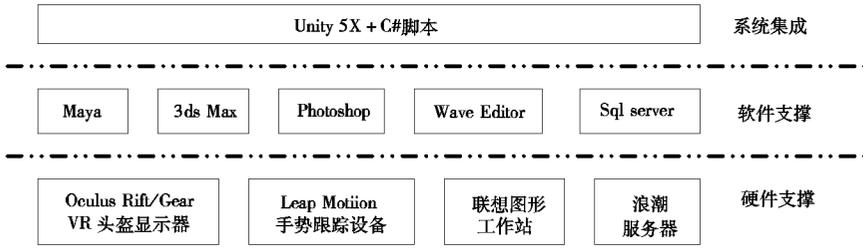


图 5 原型系统软硬件集成框架

Fig.5 Hardware and software integration framework of prototype system



图 6 螺栓的拆卸操作

Fig.6 Disassembly operation of bolts

拟维修训练系统,通过人类自然的手势方式与机器系统进行交互,实现高质量的维修训练。下一步,将强化虚拟场景和手势识别等方面的研究,提

高系统的沉浸感和交互性,为虚拟现实技术的应用提供有益借鉴和参考。

参考文献:

[1] 赵沁平. 虚拟现实综述[J]. 中国科学,2009(1):2-46.  
 [2] 周来. 面向虚拟现实飞行模拟训练的视觉手交互技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012:1-3.  
 [3] 陈浩. 虚拟维修仿真训练系统研究与开发[D]. 长沙:湖南大学,2014:1-3.  
 [4] 赵鸿飞,张琦,王海涛,等. 桌面式工程机械虚拟维修训练系统技术研究[J]. 中国工程机械学报,2013,11(5):457-462.  
 [5] 杨欢,刘小玲. 虚拟现实系统综述[J]. 软件导刊,2016,15(4):35-38.  
 [6] 赵蔚,段红. 虚拟现实软件研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(2):229-233.  
 [7] 潘佳佳,徐昆. 基于 Leap Motion 的三维自由手势操作[J]. 中国科技论文, 2015,10(2):207-212.  
 [8] Leap Motion InC. Leap motion SDK and plugin documentation[EB/OL]. [2016-07-15]. <https://developer.leapmotion.com/documentation/index.html?proglang=current>.

## Design and Implementation of Immersive Virtual Maintenance Training System

ZHANG Yujun<sup>1</sup>, CHEN Hao<sup>2</sup>

( 1. Unit 69079 of PLA, Urumqi Xinjiang 830013, China;  
 2. Logistics Department of Xinjiang Military Area, Urumqi Xinjiang 830002, China )

**Abstract:** In order to build virtual maintenance training system, framework and function modules of the system is designed. Key technologies to realize the system are analyzed. Virtual reality engine and human – computer interaction by virtual hand is analyzed, and then integration technology framework of immersive virtual maintenance training system is put forward. A prototype system is constructed by taking the maintenance of a type of equipment as target. The test is carried out by practical operation, and the results show that the system meets the need of simulated training.

**Keywords:** virtual reality; human-computer interaction; training

(责任编辑:李华云)