

6-16-2022

Design of Interactive Simulated Water Gun Fire Fighting Training System Based on Steam VR

Cheng Lu

China People's Police University, Langfang 065000, China; 2916369676@qq.com

Xuesheng Jin

China People's Police University, Langfang 065000, China; 13582771175@163.com

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design of Interactive Simulated Water Gun Fire Fighting Training System Based on Steam VR

Abstract

Abstract: In order to save the fire fighting training resources and increase the immersion and experience of VR training, an interactive simulated water gun fire fighting training system based on Steam VR is designed. *By using the Hall sensors and signal conversion circuit boards to collect and transmit the signal of the simulated water gun, and by using the Unity3D engine combined with the VIVE head-mounted display to build and present VR fire scene. The gun is controlled through C# programming to complete the interaction with the virtual fire scene.* The system is evaluated by a post-questionnaire survey and the result shows that for the interactive training, the trainees' sense of immersion and experience can be greatly improved by the simulated water gun instead of the VIVE handle controller.

Keywords

Steam VR, Unity3D, 3D modeling, multifunctional interactive simulation water gun, immersive training

Recommended Citation

Cheng Lu, Xuesheng Jin. Design of Interactive Simulated Water Gun Fire Fighting Training System Based on Steam VR[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(6): 1312-1319.

基于 Steam VR 的交互仿真水枪灭火训练系统设计

陆承, 靳学胜*

(中国人民警察大学, 河北 廊坊 065000)

摘要: 为节约消防训练资源, 增加虚拟现实训练的沉浸感和体验感, 设计了基于 Steam VR 的交互仿真水枪灭火训练系统。采用霍尔传感器、信号转换电路板等硬件采集传输仿真水枪的开关信号, 利用 Unity3D 引擎结合 VIVE 头戴显示器搭建、呈现虚拟现实火灾场景, 通过 C# 编程控制水枪与虚拟火灾场景进行交互, 完成系统的设计。结果表明: 仿真水枪替代 VIVE 手柄控制器进行交互训练, 能极大地提高受训者的沉浸感和体验感, 提升受训者使用消防多功能水枪进行灭火的能力。

关键词: Steam VR; Unity3D; 3D 建模; 多功能交互仿真水枪; 沉浸式训练

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X(2022)06-1312-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.21-0093

Design of Interactive Simulated Water Gun Fire Fighting Training System Based on Steam VR

Lu Cheng, Jin Xuesheng*

(China People's Police University, Langfang 065000, China)

Abstract: In order to save the fire fighting training resources and increase the immersion and experience of VR training, an interactive simulated water gun fire fighting training system based on Steam VR is designed. By using the Hall sensors and signal conversion circuit boards to collect and transmit the signal of the simulated water gun, and by using the Unity3D engine combined with the VIVE head-mounted display to build and present VR fire scene. The gun is controlled through C# programming to complete the interaction with the virtual fire scene. The system is evaluated by a post-questionnaire survey and the result shows that for the interactive training, the trainees' sense of immersion and experience can be greatly improved by the simulated water gun instead of the VIVE handle controller.

Keywords: Steam VR; Unity3D; 3D modeling; multifunctional interactive simulation water gun; immersive training

引言

虚拟现实技术在国内外的发展十分迅速, 因其独特的代入感、沉浸感、交互感被广泛地运用于军事、消防等高风险、高消耗领域。武警江西总队、上海消防徐汇支队等均采用 VR 技术进行特殊训练, 很多高校和科研机构在 VR 结合消防训练方面开发了大量模拟训练系统。甄希金等^[1]借助

VR 设备捕捉人体运动数据, 以 Unity 3D 为开发平台, 搭建了多人协同的船舶消防培训系统; 李四航等^[2]通过较为成熟的 VR 虚拟技术模仿高层建筑火场不同阶段处理方式和安全疏散要领, 辅以动画展示, 以增强人员的消防安全自救水平; 洪洋等^[3]利用 3Ds Max 三维建模软件和 Unity 3D 游戏引擎建立了矿井火灾虚拟场景, 通过 C# 语言脚本编程和 HTC VIVE 头显设备实现学员与矿井火灾虚

收稿日期: 2021-01-31 修回日期: 2021-05-17

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0810600)

第一作者: 陆承(1996-), 男, 硕士生, 研究方向为虚拟现实技术在公共安全的应用。E-mail: 2916369676@qq.com

通讯作者: 靳学胜(1976-), 男, 硕士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为公共安全虚拟仿真技术、智慧消防等。E-mail: 13582771175@163.com

拟场景的交互。上述研究将 VR 和消防训练相结合, 有一定的训练效果, 但所使用的交互设备存在局限性, 导致训练的交互性不高、沉浸感不强。

目前“VR+消防”的训练系统中, 主要存在以下不足: ①部分仿真训练系统中直接使用 HTC 公司的 VIVE 手柄控制器进行灭火, 导致训练体验感低、训练效果差; ②部分交互仿真水枪在训练场景中只与固定着火点对应, 并且当调整水流大小时, 场景画面不能实时更新, 实时交互性差^[4]; ③部分交互仿真水枪功能单一, 只模拟出了直流喷射效果, 没有模拟开花水和喷雾水效果, 降低了受训人员针对不同场景的灭火训练体验; ④开发人员不了解消防基础知识, 凭经验设计虚拟现实火灾场景, 造成训练效果不佳。

针对以上不足, 本文设计了一款绑定 VIVE Tracker 追踪器的交互仿真水枪, 替代 HTC VIVE 手柄控制器用于虚拟灭火训练。

1 系统总体设计

本训练系统分为硬件和软件2部分进行设计, 总体设计如图1所示。硬件部分主要包括交互仿真水枪、含单片机的信号转换电路板、Tracker追踪器、内嵌霍尔角度传感器原件、VIVE头戴显示器。软件部分主要包括Unity 3D虚拟火灾场景的搭建、C#交互控制代码的撰写、水枪开关信号的提取、各硬件设备之间的信号传输方式, 以及仿真水枪与 Steam VR 场景之间的交互训练设计。

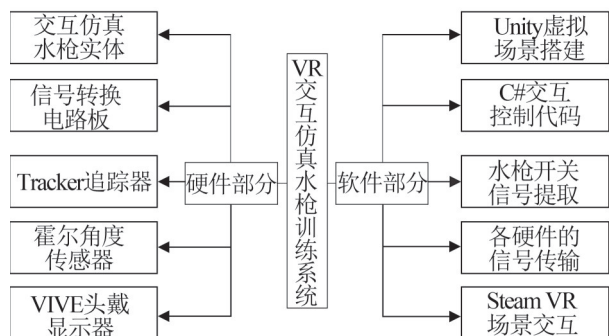


图1 系统总体设计
Fig. 1 Overall design of system

2 系统硬件设计

2.1 交互仿真水枪实体

现实环境中的仿真水枪是进行交互训练的主要载体, 仿真水枪以消防救援队伍所使用的多功能消防水枪(设置有启闭环形水流开关, 流态、流量旋转开关)为参照进行实体建模, 利用CAD画出交互水枪结构示意图, 如图2所示。枪头处为固定在水枪虚拟出水口处的Tracker追踪器模型示意图。

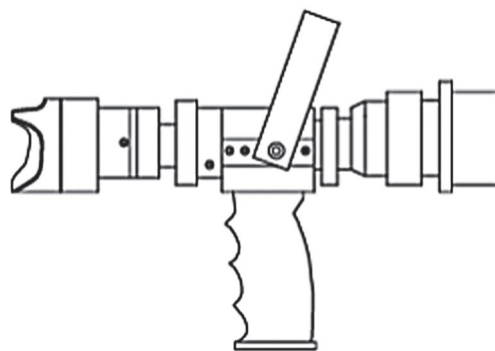


图2 交互水枪结构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of interactive water gun

水枪以3Ds Max进行各个部件的建模, 包含枪体外壳、握把、流态调节器、流量调节器、环形水流开关等部件。采用CNC(computerized numerical control)数控机床加工和3D打印技术进行加工打印, 再参照多功能消防水枪(图3)进行组装, 最终设计得到一款较为逼真的交互仿真水枪(图4)。



图3 多功能消防水枪
Fig. 3 Multifunctional fire water gun

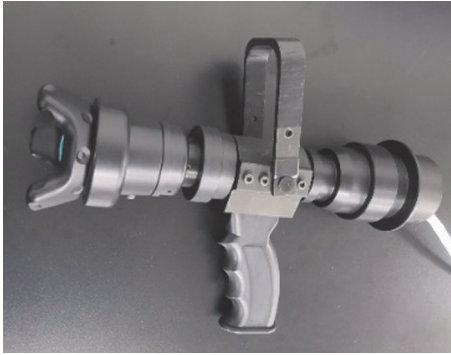


图4 交互仿真水枪样机

Fig. 4 Interactive simulation water gun prototype

2.2 霍尔角度传感器、信号转换电路板

经综合考虑,使用LW120A型号的霍尔角度传感器进行水枪信号的提取。传感器采用MEMS (microelectro mechanical systems)制造工艺,通过DSP(digital signal processing)数字信号处理,对线性度修正、温度补偿、依量程输出信号标准化、数字滤波、零点设置、多段不同斜率设置的可编程智能控制,实现 $0\sim 360^\circ$ 范围内,用户设定角度 $0\sim 5\text{ V}$, $0\sim 10\text{ V}$ 电压输出位置的测量。

霍尔角度传感器分别安装在流态调节器、流量调节器、环形水流开关内部、仿真水枪壳体内侧(图5),便于当3个部位的开关进行调节或转动时,传感器能够采集到转动的角度电压信号。



图5 霍尔传感器安装

Fig. 5 Hall sensor installation schematic

含单片的信号转换器电路板的主要功能是通过传感器连接线采集3处开关的角度变化电压信号,

并将采集到的电压信号转换成数字信号,通过RS-232串口(目前市面上较为主流的串行通信接口)传输到计算机,图6为含单片的信号转换电路板。

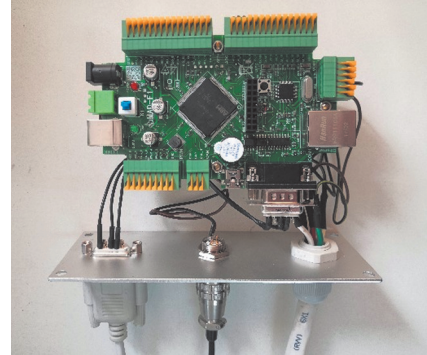
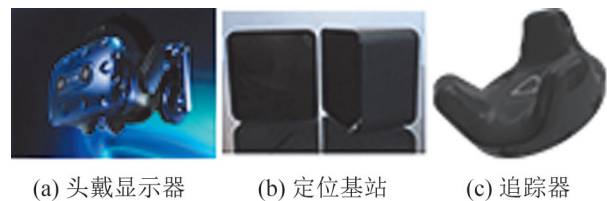


图6 信号转换电路板

Fig. 6 Signal conversion circuit board

2.3 VIVE头戴显示器、定位基站与Tracker追踪器

VIVE头戴显示器、定位基站与Tracker追踪器均是HTC VIVE公司旗下用于实现虚拟现实的配件,如图7所示。头戴显示器向双眼发送光学信号,可以实现虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)等不同效果;定位基站通过发射激光信号限定训练的范围;Tracker追踪器可以通过绑定现实世界中的物体以追踪其位置。本训练系统中,将Tracker追踪器固定在水枪虚拟出水口处,以实现水枪的定姿定位,利用头戴显示器呈现虚拟现实火灾场景,靠定位基站发射定位激光信号,确定训练区域。



(a) 头戴显示器 (b) 定位基站 (c) 追踪器

图7 显示系统组成

Fig. 7 Display system composition

在Unity官方商店中下载并导入Steam VR Plugin插件,将Plugin插件中的CameraRig放入场景中,结合VIVE头戴显示器,即可实现系统与VR世界的结合,进入基于Steam VR的交互仿真水枪灭

火训练系统。Tracker追踪器固定在实体水枪虚拟出水口处, 一是给水枪的操作留下必要空间, 二是便于水枪在虚拟现实中的定位。水枪连接好Tracker并在定位场景中与 Steam VR 匹配成功后, 添加“Steam VR_Tracked_Object”脚本至虚拟水枪模型, 此时移动Tracker追踪器, 虚拟水枪会随着移动。

受训者可以通过旋转水枪前端的水枪流态调节器, 面对不同的场景实现不同的水流切换; 通过旋转流量调节器, 实现水流量的控制; 通过环形水流开关控制水枪的开闭。在定位的空间内可以进行前后左右的探索和行进, 也可晃动头部改变视角方向, 实现360°的视角转换。

3 系统软件设计

3.1 Unity 3D 火灾场景的搭建

(1) 虚拟水枪及建筑。在Unity场景中的虚拟水枪和建筑设计由3Ds Max实现。值得注意的是, 由于Unity的默认系统单位为m, 3Ds Max默认单位是Inches(英寸), 直接将建好的水枪模型和建筑模型导入时, Unity场景中的模型会发生较大变化, 为了让3Ds max中的模型不变的导入到Unity中, 与Unity自带的3D物体尺寸一致, 最直接的办法是一开始就将3Ds Max中的系统单位也设成m, 即可从3Ds Max中导出。

(2) 火焰、地形及浓烟效果。VR培训系统中的深度感知问题通过使用丰富的纹理背景、阴影、多感官环境和生动高质量的颜色解决^[5]。为实现简单的训练, 使用Unity中的地形系统Terrain进行简单地形的设计即可。Unity3D中的粒子系统用来表现诸如液体流动、烟雾、云、火焰等具有内在流动性的实体。每个粒子都是流动实体的一小部分, 所有粒子的效果共同形成完整实体的效果。例如火焰爆炸效果, 每一个粒子都是爆炸整体中的微小颗粒, 当多个这样的微小粒子聚集在一起, 形成一块更大体积的粒子团, 表现出来的就是整体爆炸效果^[6]。

本场景中的火焰和烟雾效果均由粒子系统实现, 在粒子系统中为原始粒子添加相应的火焰、烟雾材质及贴图, 调节粒子的生命周期(lifetime)、颜色变化(color over lifetime)等属性参数即可模拟出火焰及浓烟效果。图8为Unity界面搭建的建筑火灾场景界面。

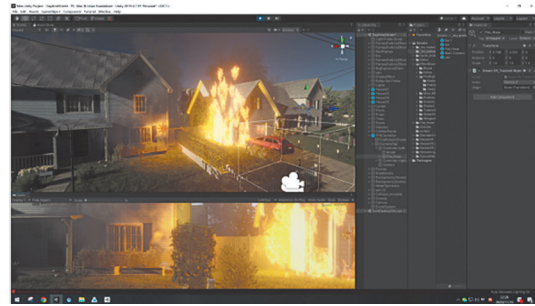


图8 unity3D搭建场景界面
Fig. 8 Unity3D build scene interface

3.2 C#代码实现仿真水枪交互控制

为了实现仿真水枪的操作与训练画面的实时更新, 必须编写C#代码作为控制水流变化的组件挂载到虚拟水枪上, 实时调用水流粒子系统中的Shape、Start size等属性参数, 这样当现实中的仿真水枪做出相应的操作时(比如打开开关、改变水流状态等)在Steam VR场景中的水枪、水流状态才能有实时的改变, 最大化地提高受训人员的沉浸体验效果。C#代码调用水流粒子系统的参数部分代码如图9所示。

```
//调用ps
private ParticleSystem ps;
public ParticleSystemShapeType shapeType = ParticleSystemShapeType.Cone;
public ParticleSystemShapeMultiModeValue arcMode = ParticleSystemShapeMultiModeValue.Random;
//水流运动
public GameObject PController;
public float moveSpeed;
public GameObject lc;
private double X=0;
private double Y=0;
private double Z=0;
0 个引用
void Start()
{
    ps = GetComponent<ParticleSystem>();
    var main = ps.main;
    main.startSpeed = 30f;
    main.startSize = 3.0f;
    var shape = ps.shape;
    shape.mesh = Resources.GetBuiltinResource<Mesh>("Capsule.fbx");
}
```

图9 调用粒子系统部分代码
Fig. 9 Part of code for calling the particle system

通过C#代码的调用控制, 操作仿真水枪实现了水流状态的实时更新: ①直流水如图10所示。水形

密集而充实、射速快、射程远、冲击力强，适用于扑救远距离火灾场景；②开花水如图11所示。水形密集、射程较直、流水较短，适用于冷却容器外壁、阻隔辐射热、掩护灭火人员靠近着火点；③雾状水如图12所示。水形密集且水流半径极小，适用于稀释浓烟，扑救油类火灾及油浸式变压器、多油式断路器等电气设备火灾。受训者可以使用仿真水枪进行前后左右方向的移动，在Steam VR场景中进行模拟射流训练，体验水枪不同的射流效果。



图10 直流水灭火效果
Fig. 10 Direct water extinguishing effect



图11 开花水隔热模拟效果
Fig. 11 Flowering water insulation simulation effect



图12 雾状水排烟模拟效果
Fig. 12 Fume exhaust simulation effect of mist water

3.3 软硬件间信号的传输连接及提取

霍尔角度传感器的测量原理：固定在水枪内侧的磁钢方向一直不变，当水枪壳体转动时，粘贴在壳体内侧的霍尔元件跟着一起转动，此时，磁钢相对壳体的位置将发生变化，因此穿过霍尔元件的磁场也发生相应的变化，霍尔元件的输出电压将变化。

因为壳体转过的角度与霍尔元件相对壳体的位置是对应的，所以壳体转过的角度与霍尔元件输出电压也是对应的。使用时，保持轴水平将传感器安装在被测物体上，旋转开关在垂直于传感器转轴方向倾斜时，其相对的倾斜角就是壳体的转角，通过检测霍尔元件的输出电压即可测量此倾角，输出电压经过信号转化电路板，电信号就被转换成数字信号，而且经过RS-232接口传输至计算机。

计算机在.NET Framework中提供了Serial Port类，并且从.NET Framework 2.0开始，C#提供了Serial Port类用于实现串口控制和串口数据通信，并存放在命名空间System.IO.Ports下，供Unity中的C#编程调用该类，提取来自RS-232接口的数字信号数据，图13为系统软硬件间的信号传输示意图。

含单片机的集成电路板与电源、水枪传感器原件、计算机进行连接，起着转变信号的枢纽作用。当计算机端完成软件部分的全部功能后，系统一经运行，C#代码就会实时调用来自电路板的数字信号，实时实现虚拟场景与现实场景的同步更新，即受训者使用仿真水枪的系列操作在虚拟现实画面中均得到了展现。

基于Steam VR的虚拟现实多功能仿真水枪的软硬件2个部分之间相互依存，通过电源、驱动、计算机指令、通信协议、串口连接等方式使得灭火训练系统得以设计实现。

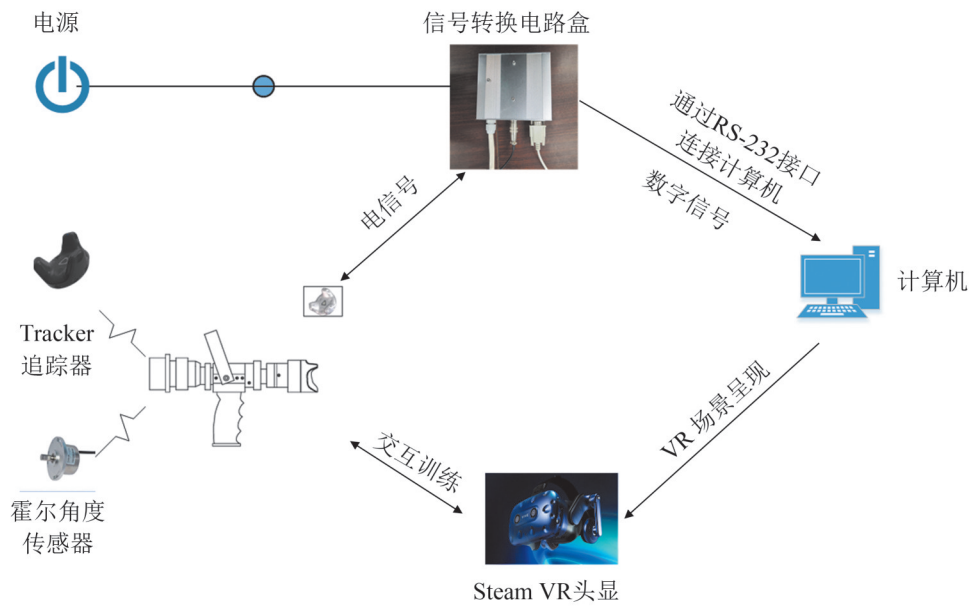


图13 系统软硬件信号传输示意图

Fig. 13 Schematic diagram of system software and hardware signal transmission

4 系统训练效果评估

4.1 评估方法及流程

为评估基于 Steam VR 的交互仿真水枪灭火训练系统的训练效果, 本文通过事后问卷调查法进行系统训练效果评估, 邀请了 50 名年龄相仿、有消防专业背景、未使用过消防多功能水枪的在校大学生进行测试并填写问卷。

测试前, 先对 50 名参训人员进行简单的训前培训, 让参训人员了解系统的基本功能、熟悉交互界面, 学会使用 VIVE 手柄控制器、头戴显示器以及多功能交互仿真水枪等交互设备, 避免在训练测试中遇到硬件使用障碍, 影响训练效果而导致评估结果偏差。

测试时, 为防止因已测试人员向未参加测试人员透露信息和 VIVE 设备型号差异等而导致结果不准确, 将 50 名同学随机分为 2 组, 每组 25 人, 分别在不同的房间进行测试。2 组人员使用型号相同的 VIVE 设备和头戴显示器, 在同一个灭火训练系统中进行训练测试, 唯一区别在于第 1 组 25 名同学以传统的 VIVE 手柄进行训练, 第 2 组 25 名同

学以交互仿真水枪进行训练。2 组的训练评估测试效果如图 14 所示。



(a) 第1组训练效果



(b) 第2组训练效果

图14 评估训练

Fig. 14 Evaluation training

测试完成后,请每位同学填写问卷。问卷分用户体验、训练效果、系统优化3个部分,共10项评估指标,每项指标下有5个选项,每项指标总分为10分。根据所得问卷整理每项指标的对应分数,分数越高代表该指标效果越好,从而对系统的效能进行评估。

4.2 评估结果分析

系统评估共获得50份问卷,根据问卷结果,将对应的评估指标分数化,统计每项指标的平均值得到基于VIVE手柄控制器和基于交互仿真水枪的训练评估对比结果,如图15所示。

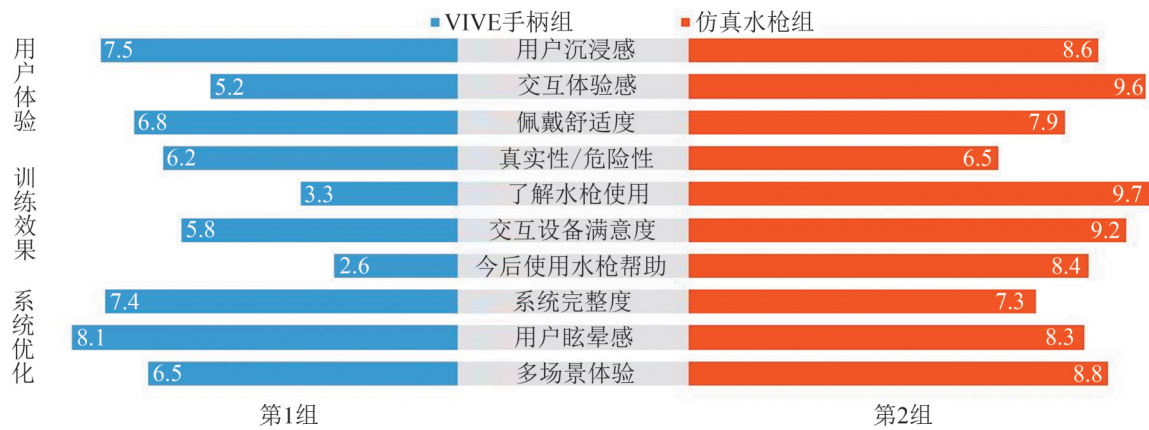


图15 评估结果

Fig. 15 Evaluation result

从图15可以看出,在用户体验(训练的沉浸感、交互感、交互设备佩戴舒适度)方面,第2组基于交互仿真水枪的指标均值是第1组基于VIVE手柄进行训练的1~2倍。在训练效果方面,2组人员对于虚拟场景的真实性(危险性)评分相差不大,均值约为6.4分,部分用户反应系统的虚拟现实火灾场景给人带来的视觉冲击还不够危险,画面真实性有待提高;而对于消防水枪的使用,第2组的参训人员明显比第1组人更清楚多功能消防水枪的使用方法,该指标的均值约是第1组的3倍;在今后使用多功能水枪的帮助方面,该指标的均值是第1组的3.2倍,第2组人员对其使用的交互设备也更为满意。系统优化方面,2组用户均表示训练结束后有眩晕感,想要呕吐等不适感觉,第2组用户想要体验更为复杂真实的场景趣味性更高。总体而言,使用多功能水枪进行训练的用户在训练过程中有更好的沉浸交互体验,总平均分为84.3分(第1组总平均分为59.4分),经过训练后对多功能消防水枪的使用有了更清晰的认识,而场

景带来的危险体验有待加强,训练过程中出现的眩晕感等身体不适的问题是未来VR系统在软硬件方面均需改进之处。

值得一提的是,多功能消防水枪发明的初衷,就是为了保护消防员,这种设计可以有效减少后坐力的冲击,防止出现不必要的伤害,因此,多功能水枪又被消防业内人员称作无后坐力水枪,足见其后坐力较小,非常适合作为VR训练系统的交互设备使用。

5 结论

本文通过分析现有虚拟消防训练系统在交互设备和模拟仿真2个方面存在的不足,模拟出较为真实的交互灭火训练,主要成果在于:

(1) 设计了基于Steam VR的交互仿真水枪灭火训练系统,达到了以低消耗、无风险的形式供受训者进行灭火扑救训练的目的。

(2) 通过设计多功能仿真水枪替代VIVE手柄控制器完成交互,能极大地提高受训者的沉浸感

和体验感, 提升受训者使用消防多功能水枪进行灭火的能力。

(3) 不同的虚拟现实火灾场景, 可以加强受训者对各类火灾场景的特点感知。系统的改进方向应该加强在虚拟场景的逼真度上, 下一步将致力于开发更为复杂逼真的火灾场景, 让受训者从视觉上更加真切的感受到危险, 取得更为理想的训练效果。

参考文献:

- [1] 甄希金, 李酬, 杨润党, 等. 基于VR技术的多人协同船舶消防系统开发及应用[J]. 船舶工程, 2020, 42(3): 15-18, 151.
Zhen Xijin, Li Chou, Yang Rundang, et al. Development and Application of Multi-Person Collaborative Ship Fire Protection System Based on VR Technology[J]. Ship Engineering, 2020, 42(3): 15-18, 151.
- [2] 李四航, 赵云鹏. 基于VR虚拟技术的高层建筑消防安全疏散培训项目设计[J]. 天津科技, 2018, 45(增1): 99-100.
Li Sihang, Zhao Yunpeng. Design of High-Rise Building Fire Safety Evacuation Training Project Based on VR Virtual Technology[J]. Tianjin Science and Technology, 2018, 45(S1): 99-100.
- [3] 洪洋, 周科平, 梁志鹏, 等. 基于VR技术的非煤矿山火灾应急培训系统的开发[J]. 黄金科学技术, 2019, 27(4): 629-636.
Hong Yang, Zhou Keping, Liang Zhipeng, et al. Development of Non-Coal Mine Fire Emergency Training System Based on VR Technology[J]. Gold Science and Technology, 2019, 27(4): 629-636.
- [4] 王秋晨. 基于仿真交互水枪的模拟消防训练系统的设计与实现[D]. 济南: 山东大学, 2018.
Wang Qiuchen. Design and Implementation of Simulated Fire Fighting Training System Based on Simulated Interactive Water Gun[D]. Ji'nan: Shandong University, 2018.
- [5] Glyn Lawson, Davide Salanitri, Brian Waterfield. Future Directions for the Development of Virtual Reality within an Automotive Manufacturer[J]. Applied Ergonomics (S0003-6870), 2016, 53: 323-330.
- [6] 张波. 船舶机舱火灾仿真及可视化应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
Zhang Bo. Research on Fire Simulation and Visualization Application of Ship Engine Room[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018.
- [7] 潘卫军, 徐海瑶, 朱新平. 基于VR技术的机场应急救援虚拟演练平台[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(2): 136-141.
Pan Weijun, Xu Haiyao, Zhu Xinping. Airport Emergency Rescue Virtual Drill Platform Based on VR Technology[J]. China Work Safety Science and Technology, 2020, 16(2): 136-141.
- [8] 刘敦文, 贾昊燃, 翦英骅, 等. 基于虚拟现实技术的隧道火灾应急培训系统构建和研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(2): 131-137.
Liu Dunwen, Jia Haoran, Jian Yinghua, et al. Construction and Research of Tunnel Fire Emergency Training System Based on Virtualreality Technology[J]. China Work Safety Science and Technology, 2019, 15(2): 131-137.
- [9] Aebersold M, Voepel-Lewis T, Cherara L, et al. Interactive Anatomy-Augmented Virtual Simulation Training[J]. Clinical Simulation in Nursing(S1876-1399), 2018, 15: 34-41.
- [10] 刘洁. 基于虚拟现实技术的运动辅助训练系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2020, 243(1): 99-102.
Liu Jie. Design of Sports Assisted Training System Based on Virtual Reality Technology[J]. Automation and Instrumentation, 2020, 243(1): 99-102.