

4-16-2019

Design and Realization of Ship Virtual Fire Training System Based on HMD

Zhang Bo

1.School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; ;

Sun Jun

1.School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; ;2. National Engineering Research Center for Water Transport Safety, Wuhan 430063, China; ;

Shang Lei

1.School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; ;2. National Engineering Research Center for Water Transport Safety, Wuhan 430063, China; ;

Hongji Xu

1.School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; ;

See next page for additional authors

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 and Realization of Ship Virtual Fire Training System Based on HMD

Abstract

Abstract: Aiming at the shortcomings of ship fire training in real environment and the advantages and application of virtual reality technology in education and training, *the virtual fire training system of ship based on head mount display (HMD) is developed*. The system is developed using the Unity 3D Virtual Reality Development Engine as a platform, using client / server mode, supporting multi-person cooperative operation, and running the terminal for HTC Vive virtual reality hardware. *The system combines the fire diffuser mechanism, the water shooting hydrodynamic equation and the particle system; completes the model establishment and visualization process*, and improves the realism of the fire training scene. The system finally runs in the virtual reality hardware terminal. Through the experience and the test, the good feedback results are obtained.

Keywords

ship fire training, virtual reality, Unity3D, head mounted display

Authors

Zhang Bo, Sun Jun, Shang Lei, Hongji Xu, and Yang Cheng

Recommended Citation

Zhang Bo, Sun Jun, Shang Lei, Xu Hongji, Yang Cheng. Design and Realization of Ship Virtual Fire Training System Based on HMD[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(1): 43-52.

基于 HMD 的船舶虚拟消防训练系统设计及实现

张波¹, 孙俊^{1,2}, 商蕾^{1,2}, 徐弘基¹, 杨诚³

(1.武汉理工大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430063; 2.国家水运安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430063;
3.中国核动力研究设计院设计所, 四川 成都 610213)

摘要: 针对目前真实环境下船舶消防训练存在的不足及虚拟现实技术在教育培训中的优势和应用, 开发基于头戴显示器(Head Mounted Display, 简称HMD)的船舶虚拟消防训练系统。系统以 Unity3D 虚拟现实开发引擎为平台, 采用客户端/服务器模式, 支持多人协同操作, 运行终端为 HTC Vive 虚拟现实硬件。系统将火灾扩散机理, 消防射水动力学方程与粒子系统结合, 完成模型建立及可视化过程, 提高消防训练场景的真实感。系统最终运行在虚拟现实硬件终端, 经过学员体验和测试, 得到较好的反馈结果。

关键词: 船舶消防训练; 虚拟现实; Unity3D; 头戴显示器

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 01-0043-10
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0182

Design and Realization of Ship Virtual Fire Training System Based on HMD

Zhang Bo¹, Sun Jun^{1,2}, Shang Lei^{1,2}, Xu Hongji¹, Yang Cheng³

(1.School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; 2. National Engineering Research Center for Water Transport Safety, Wuhan 430063, China; 3. Nuclear Power Design and Research Sub-institute, Chengdu 610213, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of ship fire training in real environment and the advantages and application of virtual reality technology in education and training, the virtual fire training system of ship based on head mount display (HMD) is developed. The system is developed using the Unity 3D Virtual Reality Development Engine as a platform, using client / server mode, supporting multi-person cooperative operation, and running the terminal for HTC Vive virtual reality hardware. The system combines the fire diffuser mechanism, the water shooting hydrodynamic equation and the particle system; completes the model establishment and visualization process, and improves the realism of the fire training scene. The system finally runs in the virtual reality hardware terminal. Through the experience and the test, the good feedback results are obtained.

Keywords: ship fire training; virtual reality; Unity3D; head mounted display

引言

随着航运业的发展, 世界范围内的船舶总量和

吨位持续增加。与此同时, 船舶海难事故发生率也呈上升的趋势。据不完全统计, 船舶火灾事故占海难事故总和的 11%^[1], 由此造成的经济财产损失在所有海难损失中所占比例最高。根据国际海事组织(IMO)的数据统计和分析得出, 船舶火灾事故中人为因素造成的事故占到 80%, 由此 IMO 提出全面重视船员消防知识的掌握和提高船员消防技能的要求。



收稿日期: 2017-05-02 修回日期: 2017-07-20;
基金项目: 国家自然科学基金(51379170);
作者简介: 张波(1993-), 男, 湖北武汉, 硕士生, 研究方向为虚拟现实技术应用; 孙俊(1968-), 男, 湖北武汉, 博士, 教授, 研究方向为系统仿真; 商蕾(通讯作者 1974-), 女, 湖北武汉, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实技术应用。

<http://www.china-simulation.com>

尽管船舶消防得到高度重视,但实际的船舶消防演习却并没有取得预期效果。2013 年以来,多艘船舶连续在 PSC 港口国检查时由于不能有效实施消防演习而被滞留甚至被开出了 ISM 管理缺陷。在船舶审核中也发现多数船舶在演习中存在演习不切实际、指挥和组织不到位、不能正确使用消防设施、演习内容不符合 SOLAS 公约要求、船员职责不清等情况。产生这些问题的原因在于,目前船舶消防训练过程中,并没有提供一个真实的火情和真实的火灾环境,消防演习流于过场和形式。船员并没有经历真实的火灾现场,对于船舶消防仅停留在理论化和流程化的概念中,没有感性认识,当消防演习更换了假设的火灾地点,部分船员无法适应,整个场面出现了慌乱,不能按照预先的秩序进行。

因此,船舶消防训练需要提供给受训船员具有火灾现场的真实感训练场景。而在真实环境下不可能为了消防演习而人为构造船舶火灾环境,通过虚拟现实技术实现的桌面式^[2]虚拟消防系统尽管能够构造船舶火灾环境,但受训船员在操作中并不能融入到火灾场景中,缺乏参与性,实践技能并不能得到提升。

为了弥补上述消防过程中存在的不足,本文引入虚拟现实技术^[3-6](Virtual Reality, 简称 VR)开发基于 HMD(Head Mounted Display, 简称 HMD)的船舶消防训练系统。系统按照真实船舶环境构建消防训练环境,通过 Unity3D 引擎创建生动逼真的可视化场景及三维实时动画。建立火灾蔓延机理大规模大范围内模拟船舶火灾发生过程,结合消防射水动力学模型,完成火灾发生,扩散和消防灭火可视化过程。本系统采用 Unity3D 5.3 版本开发,支持虚拟现实和增强现实硬件的实时开发和调试。消防训练系统借助头戴显示器和手持控制器等虚拟现实硬件,使受训船员通过头戴显示器进入到船舶消防训练场景,在佩戴头戴显示器的状态下,受训船员在物理空间的位置移动会被同步到虚拟场景当中,并能通过手持控制器操作场景中的虚拟消防工具。受训船员使用手持控制器与系统场景进行交互^[7-8],完全融入到场景中

获得较强的沉浸感,有效提升消防安全技能。

1 系统设计

1.1 系统框架

基于头戴显示器的船舶虚拟消防训练硬件结构如图 1 所示,由主机加载服务器程序并与客户端 PC 进行通信,每一个客户端 PC 连接一套 HTC Vive 硬件终端,包括头戴显示器,手持控制器和激光定位器。系统框架如图 2 所示,在客户端系统运行开始前,服务器端程序进入运行状态并与数据库保持连接,客户端启动后通过注册或登录进入消防训练系统,此时操作者通过手持控制器与场景进行交互,由头戴显示器得到三维场景的渲染输出并呈现给操作者一个封闭的视觉场景空间。

操作者进入消防训练系统后,使用手持控制器的按键呼出三维空间 UI 界面,界面包括场景选择、模式选择和场景描述,场景返回四个选择按钮。消防训练系统是通过训练任务驱动场景,船舶火灾的多发区域为机舱、货舱、生活区和厨房等存在较大火灾隐患的区域,本消防训练系统的任务包括机舱消防、货舱消防、生活区消防及厨房消防等消防训练任务。操作者通过 UI 界面中的场景选择进入到对应任务的三维场景,在小范围操作空间内,可以利用手持控制器的方向键进行空间点的传送进而到达目的来地实现在三维场景的漫游;若操作者处于较大的空间范围,可以直接通过走动实现场景的漫游。

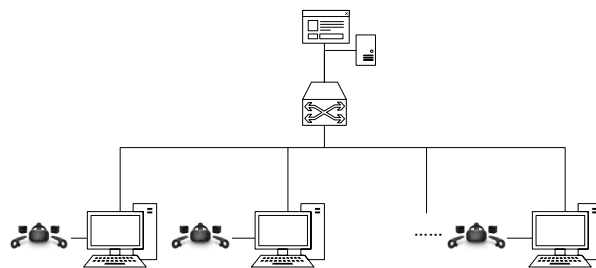


图 1 硬件结构

Fig. 1 Hardware structure

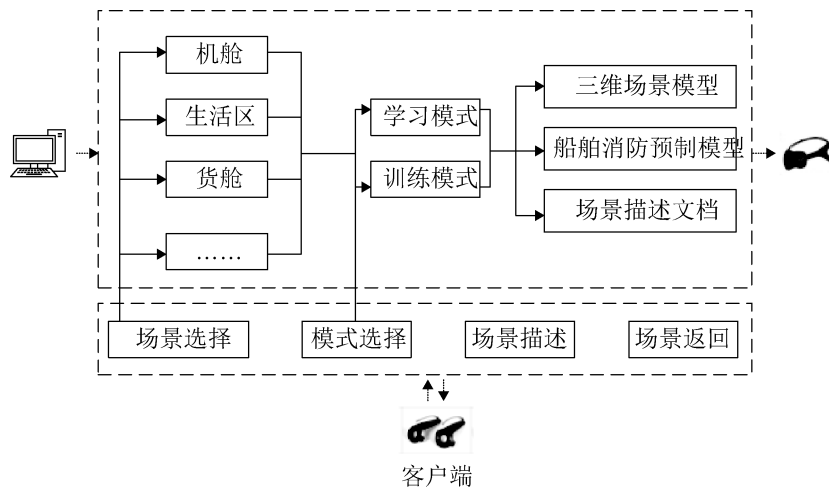


图 2 系统框架

Fig. 2 System framework

1.2 系统功能

根据系统的需求分析,船舶虚拟消防训练系统包含学习模式和训练模式功能。训练模式下支持单机操作以及多人协同操作,同时提供 UI 界面描述当前场景和任务信息。

进入指定场景后,操作者可以通过 UI 界面选择学习模式或训练模式。学习模式下,操作者以观察者的角色完成船舶消防训练知识点的学习,头戴显示器可以通过播放全景教学视频,使操作者在观察学习的状态下也能获得较大的沉浸感,增强学习的效果;训练模式下,操作者以参与者角色进入消防训练。场景根据自身特性,加载船舶消防预制模型中的火源起火和火焰扩散模型,对应的火源模型包括可燃性物料火源,油气火源,电气火源,化学气体火源等,根据不同的场景加载对应火源并根据火源自身特性进行扩散。操作者在探明火源后,采取对应的措施实施灭火,船舶灭火系统包括水灭火系统、二氧化碳灭火系统、高压细水雾灭火系统、甲板泡沫灭火系统和干粉灭火系统等,操作者在选择对应灭火系统和灭火器件后,通过控制器实施释放,系统加载船舶消防预制模型,实现灭火可视化过程,并将场景输出到头戴显示器,同时给手持控制器力反馈震动模拟真实环境下灭火器具的反作用力效果。

训练模式下支持单人操作和多人协同操作。受训人员在进入训练模式后,可以在单人训练模式下进入到消防训练场景进行实践训练,熟练在消防救援过程中需要掌握的实践技能;多人训练模式下,多个受训船员进入同一个消防训练场景中协同作业,共同完成消防训练任务。

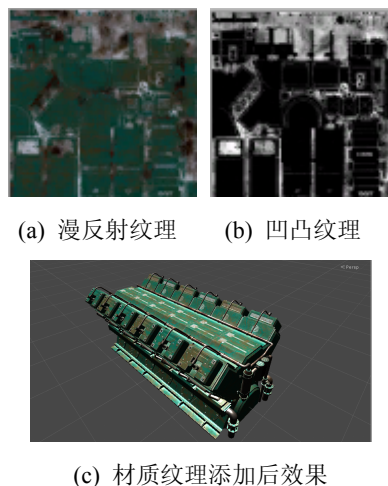
操作者通过手持控制器在 UI 界面选择该按钮后,三维 UI 界面会加载场景描述文档,给操作者呈现指定场景的相关信息,包括当前消防训练任务,场景中的火源种类,对应的灭火系统布置情况,消防通道的路线指示等。操作者可以随时通过手持控制器的菜单键调出三维 UI 界面得到关于场景的描述。

2 关键技术

2.1 场景建模及渲染

消防训练系统场景中的模型使用几何建模法在 3dsMax 平台下按照真实环境中的船机设备尺寸及比例通过多边形建模的方式完成训练场景中设备的素模建模过程。模型表面纹理是通过添加附有纹理贴图材质球的方式来表现,由于该训练场景中的设备数量较多,每个设备表面的细节较为复杂。为了减小场景在渲染过程中的开销,在添加材质球时,采取 UV 展开操作,即将三维模型的表面展开成一

个平面, 针对该平面的不同区域做纹理绘制, 这样一个复杂的三维设备通过一张纹理贴图即可表现完整表面的纹理; 同时, 设备表面的凹凸细节也通过另一张带有凹凸通道的贴图来表现, 而不是直接在素模上添加模型面数, 这样能够实现低模高精的效果, 保证系统运行的流畅度。图 3 为某设备的 UV 展开贴图和凹凸贴图, 及完成材质球添加后的效果。



(c) 材质纹理添加后效果

图 3 模型贴图

Fig. 3 Textures of model

在完整场景搭建完成后, 场景中的设备表面的光影效果需要灯光组件进行光照计算和渲染。实时的光照渲染会比较耗费计算机性能, 尤其在相对复杂和布光数量较多的情况下, 因此为了使系统运行时达到相对较高的帧率以保证流畅, 场景在完成布光后进行光照烘焙, 这样生成的光照烘焙贴图应用于场景中的静态设备, 场景在运行时只需要加载一张光照贴图即可表现场景中的光影效果而不必进行实时光照计算。图 4 为加载完光照贴图的船舶集控室和机舱场景。



图 4 集控室

Fig. 4 Central control room

2.2 碰撞检测

在虚拟环境中, 碰撞检测是确定两个或多个模型之间是否发生接触和穿透, 并记录碰撞信息的过程。准确的碰撞检测方式不仅对虚拟场景交互的真实性, 而且对交互的沉浸感都有着重要的影响。船舶虚拟消防训练场景中, 涉及到大量模型间的接触, 因此对碰撞检测方式需要进行合理的选取。

在 Unity3D 引擎下可以检测两个物体之间的实际接触, 也可以检测特定区域之间的碰撞(触发器碰撞检测), 甚至通过使用光线投射进行预先碰撞检测, 来满足场景中模型之间不同的交互方式。刚体碰撞检测中, 模型之间若发生碰撞会产生力反馈效果。在消防设备抓取过程中, 通过刚体碰撞检测来实现设备之间的交互。触发器碰撞检测中, 触发碰撞器可以指定碰撞区域, 模型只要进入该区域就能触发碰撞, 并不需要与场景中实际存在的模型进行接触。在进入舱室过程中, 舱门的启闭, 各种控制开关的启闭可以通过这种触发器碰撞检测。光线投射预先碰撞检测是通过调用物理投射函数, 传入投射光线的初始位置, 光线投射方向, 光线变量和光线长度等参数向目标位置点投射出一段光线来检测该目标位置点的碰撞信息。在使用手持控制器进行快速导航时通过光线投射的预先碰撞检测方法, 使得受训人员快速就位到控制器指定点。

2.3 船舶火灾扩散模型及可视化

目前船舶火灾扩散模型是将船舶舱室和甲板空间以多个元胞网格进行划分, 按照元胞自动机理论进行演化^[9-10], 文献[9-10]对元胞自动机理论进行火灾扩散做了计算与合理验证, 因此本系统以该理论作为火灾扩散的理论基础, 对火灾扩散进行可视化。元胞网格的尺寸大小可以根据 JirouK 和 Kobayashi K^[11]归纳的公式进行计算和改进。考虑到船舶自身所处的环境特点, 引入环境因素, 得到船舶火灾传播距离公式:

$$\text{Distance} \begin{cases} \leq \text{船舶外部轮廓尺寸} \\ = 1.15(5 + 0.5v) \end{cases} \quad (1)$$

其中, 船舶舱室内部火灾扩散的距离受限于舱室的结构尺寸, 而发生在船舶甲板的露天火灾的扩散距离则与环境风速有关。根据式(1), 火灾由元胞网格向邻域网格扩散的范围会受到风速的影响从而随着时间发生相应的变化。针对船舶火灾扩散过程, 可以将元胞的状态分为 5 个状态值, 分别为不可燃、可燃但未燃、可燃可扩散、可燃但无扩散性、燃烧完结。元胞网格是否向邻域网格扩散, 通过元胞网格的状态值进行判断, 元胞的状态值由火灾扩散因子 $F_{ij}^{[12]}$ 决定, 即:

$$F_{ij} = \alpha \cdot (S_{ij} \cdot P_{ij}) \cdot W_{ij}^{\beta} \cdot p(t_{ckl}) \quad (2)$$

式中: α 是火灾扩散调整值(不包括风速); S_{ij} 为船舶结构参数; P_{ij} 为物质可燃转化率; W_{ij}^{β} 是环境因素, 主要包括风速和风向, β 为调整比例值; $p(t_{ckl})$ 则表示元胞 (k, l) 的扩散能力, 公式中的参数值除调整比例值 β 外, 取值范围在 $(0, 1)$ 。

对于船舶火灾的扩散模型, 元胞自动机提供较好的机理支撑。然而, 目前国内外研究多着重于船舶火灾扩散原理, 对于火灾可视化过程模拟过于简化, 存在仿真效果不真实的问题。随着目前虚拟现实技术的发展, 将船舶火灾扩散模型与虚拟现实仿真引擎结合起来, 可以得到较为真实的火灾扩散效果。

火灾扩散的可视化过程中既要满足上述元胞自动机机理, 同时火焰粒子应沿着船舶舱室或甲板进行蔓延, 不能穿越障碍物, 以保证较为真实的火灾扩散视觉效果。火焰粒子沿着障碍物扩散可以借助虚拟现实仿真引擎的射线检测实现。具体计算思路如图 5 所示: 图中分别模拟 3 种不同的舱壁边缘结构, 黑色点为原始检测点, 射线由该点的 Forward 方向发出。每一个层级下, 射线对 Forward 方向上单步长距离的点进行检测, 若途中检测到舱壁或者障碍物, 记录舱壁或障碍物与射线交点(图中蓝色实心点), 并将该点的 Normal+方向一定距离的点作为新的检测点(图中黑色虚线圆圈), 即火焰粒子生成点, 调整该点位置的旋转, 使火焰粒子的 up 方向与交点的 Normal+方向一致, 进行下一轮检测。若该

点位置不存在舱壁等障碍物, 则由该点的 Up 方向的单步长距离的点向-Up 方向进行两倍步长距离的射线检测, 检测下方是否有障碍物, 若在途中检测到障碍物, 按照上述方式记录检测点。若下方不存在障碍物, 说明该点的单步长范围内 Forward 和 Up 方向不存在障碍物, 该方向上的蔓延过程到之前的检测点结束, 如图中第 2 种情况所示。

将上述计算过程在 Unity3D 中编程实现, 可得到图 6~9 所示的模拟效果。图中的方块表示为舱壁或障碍物, 障碍物表面的蓝色轨迹线为射线检测点之间的连线, 垂直于轨迹线表面的蓝色线条与轨迹线的交点为新检测点的生成位置。从图中可以看到, 轨迹线沿着障碍物表面行进, 并未穿越障碍物。图 8 和图 9 分别为对应步长和层级下火焰粒子单方向和四周扩散过程的模拟效果。图中火焰粒子与轨迹线一样沿着障碍物表面进行扩散而没有穿越障碍物, 可视化效果与真实环境下的火焰扩散较为接近。图 6~9 中, 图(a)为步长 0.1, 层级为 10 的模拟效果; 图(b)为步长 0.1, 层级为 20 的模拟效果; 图(c)为步长 0.2, 层级为 20 的模拟效果。步长的大小由元胞网格的细分程度决定, 而层级则是通过船舶火灾的传播距离 Distance 来决定, Distance 的值越大, 层级越高, 火焰粒子的扩散范围则越大。从模拟的扩散效果图中可以看到, 系统中的火灾蔓延接近真实世界中的火焰传播与扩散过程。

2.4 船舶消防水柱模型及可视化

在船舶消防实训过程中, 消防射水是船员必须掌握的基本技能。当距离火点较远时, 水枪的水流调节到较高的流速, 形成直流射水, 分离燃烧的物质, 加快灭火速度; 当火场的现场温度较高时, 调节水流射速, 使水花喷出较大的角度, 有效阻隔和减弱火场的热辐射, 保护火场救援人员; 当靠近火源时, 水枪的水流水花收紧, 集中喷射火源进行灭火。因此, 船舶火灾现场救援过程中, 消防水枪的射水流速是动态调节的。水枪的水流在喷射过程中, 水枪发射位置和火源位置关系如图 10 所示。

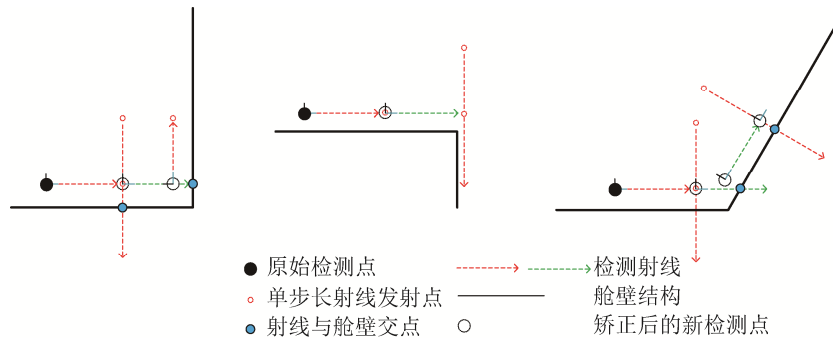
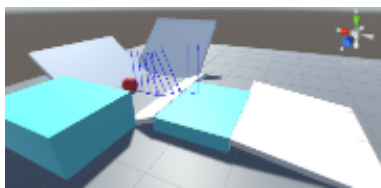
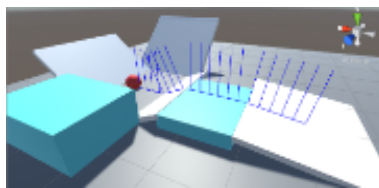


图 5 障碍物检测

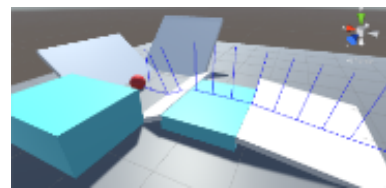
Fig. 5 Obstacle detection



(a) 步长 0.1, 层级 10 单线模拟



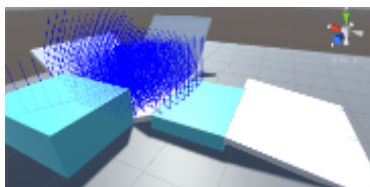
(b) 步长 0.1, 层级 20 单线模拟



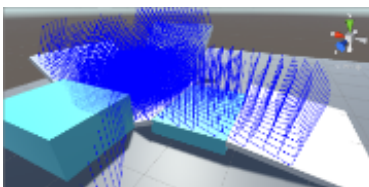
(c) 步长 0.2, 层级 20 单线模拟

图 6 火灾扩散效果(1)

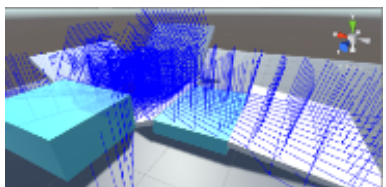
Fig. 6 Fire spread effect(1)



(a) 步长 0.1, 层级 10 全线模拟



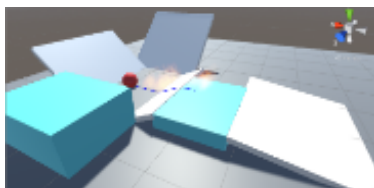
(b) 步长 0.1, 层级 20 全线模拟



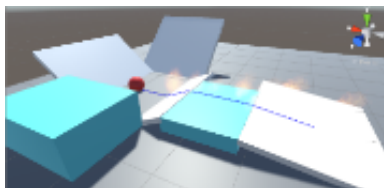
(c) 步长 0.2, 层级 20 全线模拟

图 7 火灾扩散效果(2)

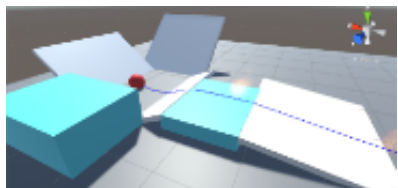
Fig. 7 Fire spread effect(2)



(a) 步长 0.1, 层级 10 单粒子模拟



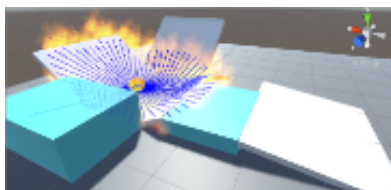
(b) 步长 0.1, 层级 20 单粒子模拟



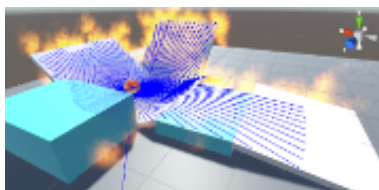
(c) 步长 0.2, 层级 20 单粒子模拟

图 8 火灾扩散效果(3)

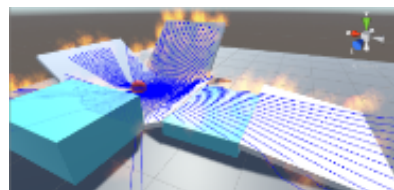
Fig. 8 Fire spread effect(3)



(a) 步长 0.1, 层级 10 全粒子模拟



(b) 步长 0.1, 层级 20 全粒子模拟



(c) 步长 0.2, 层级 20 全粒子模拟

图 9 火灾扩散效果(4)

Fig. 9 Fire spread effect(4)

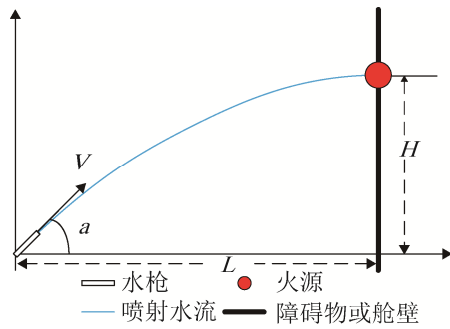


图 10 水柱喷射模型

Fig. 10 Water column jet model

喷射水流满足式(3)和式(4)的运动学方程, 若水枪与水平方向的夹角 α 已知, 可以求出水枪的喷射水流流速 V 以及水柱到火源点的时间 t 。水流流速 V 和水流持续时间 t 的值用于喷射水流的可视化过程中参数设置。

$$L = V \cdot \cos \alpha \cdot t \quad (3)$$

$$2g \cdot H = (V \cdot \sin \alpha)^2 - (V - g \cdot t)^2 \quad (4)$$

喷射水流的可视化通过虚拟仿真引擎 Unity3D 的粒子系统与 SPH(光滑粒子流体动力学)算法^[13]的结合来实现。SPH 算法是以拉格朗日视角, 通过粒子模拟流体的运动规律, 再转化成网格进行流体渲染, 是一种基于物理模型的流体仿真方法, 与 Unity3D 的粒子系统相结合, 能够较为真实模拟喷射水流中的粒子个体行为。由流体力学基本公式推导, 通过 SPH 算法, 使用光滑核函数得到某一位置粒子的密度、压力、粘度和加速度计算公式如下:

某一位置处粒子密度:

$$\rho(r_i) = m \frac{315}{64\pi h^9} \sum_j (h^2 - |\vec{r}_i - \vec{r}_j|^2)^2 \quad (5)$$

某一位置处单个粒子的压力可以由理想气体状态方程得到, 由压力部分产生的加速度通过光滑核函数整理得到:

$$\vec{a}_i^{\text{Pressure}} = -\frac{\nabla p(\vec{r}_i)}{\rho_i} = m \frac{45}{\pi h^6} \sum_j \left(\frac{p_i + p_j}{2\rho_i \rho_j} (h - r)^2 \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \right) \quad (6)$$

式中: $p = K(\rho - \rho_0)$, ρ_0 为流体静态密度, K 为常数。在 SPH 算法里, 流体的质量是由流体单元的密度决定的, 所以一般用密度代替质量。

某一位置粒子由粘度产生的加速度通过光滑核函数表达如下:

$$\vec{a}_i^{\text{viscosity}} = m\mu \frac{45}{\pi h^6} \sum_j \frac{\vec{u}_j - \vec{u}_i}{\rho_i \rho_j} (h - |\vec{r}_i - \vec{r}_j|) \quad (7)$$

最后, 某一位置的粒子加速度计算式如下:

$$\vec{a}(\vec{r}_i) = \vec{g} + m \frac{45}{\pi h^6} \sum_j \left(\frac{p_i + p_j}{2\rho_i \rho_j} (h - r)^2 \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{r} \right) + m\mu \frac{45}{\pi h^6} \sum_j \frac{\vec{u}_j - \vec{u}_i}{\rho_i \rho_j} (h - r) \quad (8)$$

式中: $r = |\vec{r}_i - \vec{r}_j|$, 由此得到某一位置粒子的合加速度, 粒子的速度变化根据该加速度和水流持续时间 t 进行变化。

SPH 算法在喷射水流单个粒子的运用过程如图 11 所示。

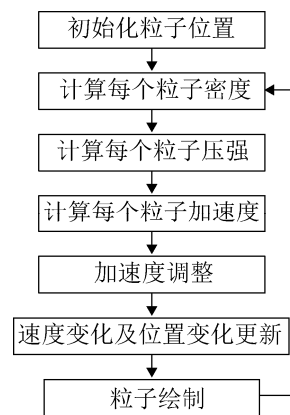


图 11 SPH 算法基本流程

Fig. 11 Basic flow of SPH algorithm

粒子的消亡过程由水流持续时间 t 和 Unity3D 中的粒子碰撞检测共同决定, 当水流粒子接触到其他物体的碰撞盒时, 即判定为消亡。图 12 为设置消防水柱粒子系统参数后得到的可视化模拟效果, 图 12(a), 图 12(b), 图 12(c)分别为不同喷射速度下的喷射效果, 随着喷射初速的提高, 粒子的聚集程度逐渐变小, 较为符合真实环境下喷射水柱的速度改变情况。

2.5 多人协同通讯框架

消防训练系统训练模式下支持多人协同操作。场景中消防任务和物品的损耗状态同步,其他角色参与者位置信息的同步需要由客户端与服务器端进行通信,服务器接受客户端的信息并分发至其他

客户端,完成信息的同步过程。客户端与服务器之间的通信以及客户端与客户端之间的位置信息同步通过由 Photon Server 服务器提供的接口分别搭建服务器端程序和客户端程序完成信息的传递。

服务器端通讯程序框架如图 13 所示。

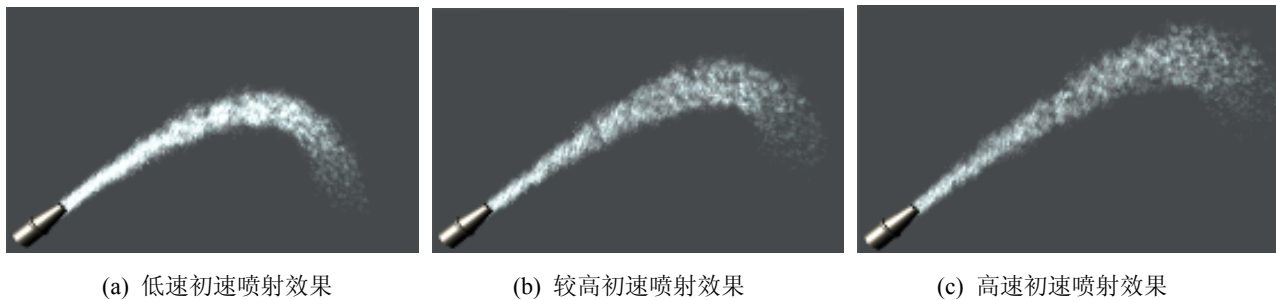


图 12 喷射水柱模拟效果

Fig. 12 Jet water column simulation effect

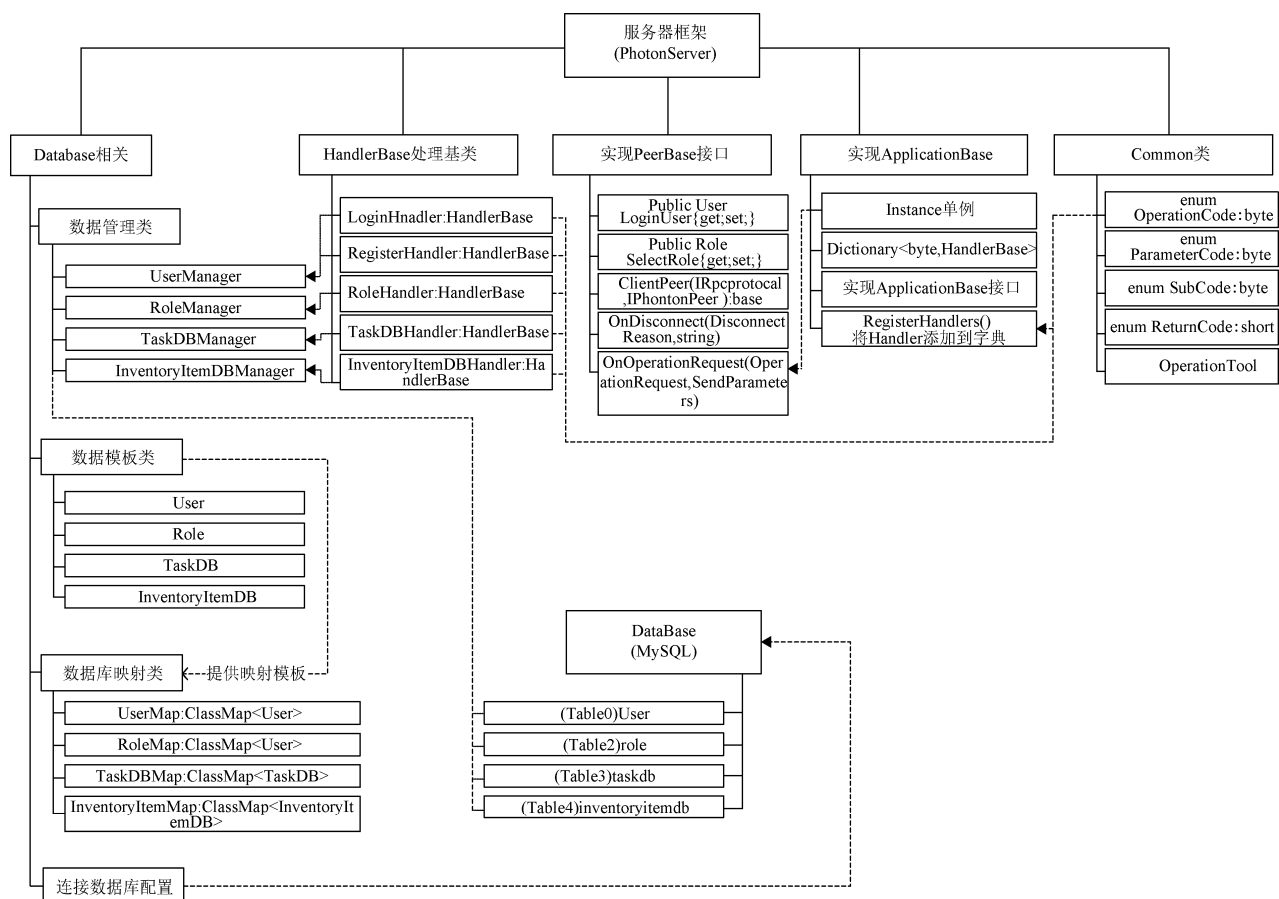


图 13 服务器端通讯程序框架

Fig. 13 Server-side communication program framework

包括数据库相关、请求处理、客户端接口实现、核心接口实现和公共类五个部分:

(1) 数据库相关部分定义数据模板类, 数据映射类, 数据管理类 and 数据库连接配置;

(2) 请求处理部分定义了针对客户端请求处理的方法;

(3) 客户端接口实现部分实现了针对客户端连接的请求处理的虚方法;

(4) 核心接口实现部分实现了每一个客户端连接时生成对应的客户端连接实例, 是服务器端程序的核心类;

(5) 公共类用于向服务器和客户端建立数据识别码, 通过识别码双方对接收到的数据进行分类和方法分发处理。

服务器和客户端之间数据的发送需要解析与反解析的过程。数据的解析与反解析封装在公共类中, 服务器端和客户端都能对方法进行调用。客户端通讯程序与服务器端通讯程序对应, 数据的发送与接收通过公共类中的识别码进行识别对应, 在此不详述。

3 系统运行效果

系统运行前需要将 HTC vive 头戴显示器设备与客户端进行配置, 并部署定位器的可操作空间。运行服务器程序, 参训人员在客户端 PC 机启动客户端程序, 通过注册或登录进入到虚拟消防训练系统。参训人员可以选择不同的船舶消防训练任务, 并进入到不同的场景中。例如, 参训人员选择机舱消防训练任务后, 进入船舶机舱场景, 实际运行效果如图 14 所示。图中右上角状态指示灯为 HTC Vive 头戴显示器和手持控制器正常接入, 定位器处于正常运行状态。参训人员通过头戴显示器融入到机舱场景, 可以通过自身移动和头部转向在场景中全景漫游, 也可以使用控制器在机舱中进行快速移动, 如图 14(a)所示。当选择加载消防训练任务后, 客户端向服务器发起加载请求, 在得到服务器端请求的处理信息后, 加载船舶火灾扩散模型, 如

图 14(b)所示, 此时加载机舱局部失火模型并将扩散过程可视化。参训人员通过手持控制器选择消防水枪对火源点进行灭火处理, 如图 14(c)所示。

系统开发完成后, 对参训学员进行开放测试。参训学员在学习和体验后, 普遍反馈比起 PC 终端的虚拟场景, 使用头戴显示器具有更强的沉浸感和代入感, 漫游过程更接近真实环境中的体验。同时, 配合手持控制器与场景进行交互, 相较于键盘鼠标的交互更具有参与性, 火灾的扩散过程和消防水柱的可视化具有一定火灾现场感效果。系统体验的整体反馈较为理想, 但部分场景中的细节有待加强。



(a) 实际人员操作效果



(b) 火灾运行演示效果



(c) 消防灭火演示效果

图 14 系统运行效果

Fig. 14 System running effect

4 结论

基于头戴显示器的船舶虚拟消防训练系统结合物理模型和粒子系统将消防过程可视化,通过头戴显示器和手持控制器等虚拟现实硬件为受训人员提供较强的场景沉浸感和过程参与感。系统采用客户端/服务器模式既满足个人消防训练要求,同时支持多人协同训练,使受训者消防技能得到多角度提升。系统实际运行效果经过受训学员的体验和测试,反馈结果令人满意,能够弥补真实环境下船舶消防训练流程中存在的不足。除了局部细节的完善,系统在功能上有待扩展,如添加评估考核环节;在多人协同操作中除了消防员,可以添加指挥员,救护人员等角色。在以后的工作中将对本消防训练系统进行进一步完善。

参考文献:

- [1] 刘书平. 船舶高级消防[M]. 人民交通出版社;大连海事大学出版社, 2012: 2-3.
Liu S. Ship senior fire[M]. People's Communications Press; Dalian Maritime University Press, 2012: 2-3.
- [2] 张凤军, 张弛, 王亮, 等. 桌面虚拟现实环境下的双手交互技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(11):1698-1703.
Zhang S, Zhang C, Wang L, et al. Two-hand interactive technology in desktop virtual reality environment[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2006, 18(11):1698-1703.
- [3] 赵沁平, 周彬, 李甲, 等. 虚拟现实技术研究进展[J]. 科技导报, 2016, 34(14): 71-75.
Zhao Q, Zhou B, Li J, et al. Progress in Virtual Reality Technology [J]. Science and Technology Review, 2016, 34(14): 71-75.
- [4] 曹焯. 虚拟现实的技术瓶颈[J]. 科技导报, 2016, 34(15):94-103.
Cao X. Technical bottleneck of virtual reality[J]. Science and Technology Review, 2016, 34 (15): 94-103.
- [5] 周忠, 周颐, 肖江剑. 虚拟现实增强技术综述[J]. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(2): 157-180.
Zhou Z, Zhou Y, Xiao J J. Study on Virtual Reality Enhancement Technology[J]. Science in China: Information Science, 2015, 45(2): 157-180.
- [6] 伍朝辉, 郭瑜, 王辉, 等. 虚拟现实交通运输应用研究综述[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(10): 2289-2297.
Wu C H, Guo Y, Wang H, et al. Study on Virtual Reality Transportation Application Research[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(10): 2289-2297.
- [7] 张玉军, 邢辉, 汤华军. 沉浸式虚拟训练中的虚拟手操控技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(2): 81-84.
Zhang Y J, Xing H, Tang H J. Study on Virtual Hand Control Technology in Immersive Virtual Training[J]. Computer Measurement and Control, 2017, 25(2): 81-84.
- [8] 江军, 李玥庆. 虚拟现实的交互方式分析[J]. 集成电路应用, 2016, 24(12): 84-86.
Jiang J, Li Y Q. Analysis of interactive reality of virtual reality [J]. Application of Integrated Circuits, 2016, 24(12): 84-86.
- [9] 杨福龙, 曹佳, 白夜. 基于元胞自动机的林火蔓延三维模拟仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(19): 37-41.
Yang F L, Cao J, Bai Y. Three-dimensional simulation of forest fire spread based on cellular automata[J]. Computer Engineering and Applications, 2016, 52(19): 37-41.
- [10] Innocenti E, Silvani X, Muzy A, et al. A software framework for fine grain parallelization of cellular models with OpenMP: application to fire spread [J]. Environmental Modeling & Software (S1364-8152), 2009, 24(7): 819-831.
- [11] JRIOU K, KOBAYASHI K. Large Area Fire, Fire Handbook [M]. Fire Institution of Japan. Tokyo: Kyoritsu Publication Co. Ltd, 1997.
- [12] 常壮, 邱金水, 张秀山. 基于虚拟现实技术的舰船虚拟消防训练系统体系架构研究[J]. 中国舰船研究, 2009, 4(3): 56-61.
Chang Z, Qiu J S, Zhang X S. Study on Architecture of Ship Virtual Fire Training System Based on Virtual Reality Technology[J]. China Ship Research, 2009, 4(3): 56-61.
- [13] 方浩, 孙世波, 陈娣, 等. 基于SPH的泥石流可视化仿真研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(11): 312-315.
FANG H, SUN S B, CHEN D, et al. Study on Visualization Simulation of Debris Flow Based on SPH[J]. Computer Simulation, 2012, 29(11): 312-315.