

# 基于高空 VR 交互场景的恐惧情绪诱发系统设计与实现\*

丛林<sup>1</sup>, 杨菁华<sup>2</sup>, 孙继成<sup>1</sup>, 程珊<sup>1</sup>, 张太辉<sup>1</sup>, 胡文东<sup>1</sup>

(1.空军军医大学 航空航天医学系, 陕西 西安 710032; 2.空军工程大学 基础部, 陕西 西安 710051)

**摘要:** 基于高空 VR 交互场景设计并实现了一种可提供下肢体感交互的恐惧情绪诱发系统, 通过定制的碳素结构钢踏板及其底部的双筒式弹簧单元, 可使得人体行走踩踏后产生多角度的应力晃动, 利用匹配的 VR 跟踪器可实现虚拟高空场景中的晃动交互。该系统具有交互显示、踏板匹配、虚拟场景和实验管理等功能模块, 可自动将诱发过程中人体的各项生理数据、空间位置、时间信息、任务绩效等数据进行存储。

**关键词:** 虚拟现实; 体感交互; 恐惧; 情绪诱发

中图分类号: TP319; B849

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211771

中文引用格式: 丛林, 杨菁华, 孙继成, 等. 基于高空 VR 交互场景的恐惧情绪诱发系统设计与实现[J]. 电子技术应用, 2022, 48(6): 69-72, 78.

英文引用格式: Cong Lin, Yang Jinghua, Sun Jicheng, et al. Design and implementation of fear emotion inducing system based on high-altitude VR interactive scene[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(6): 69-72, 78.

## Design and implementation of fear emotion inducing system based on high-altitude VR interactive scene

Cong Lin<sup>1</sup>, Yang Jinghua<sup>2</sup>, Sun Jicheng<sup>1</sup>, Cheng Shan<sup>1</sup>, Zhang Taihui<sup>1</sup>, Hu Wendong<sup>1</sup>

(1.School of Aerospace Medicine, Air Force Medical University, Xi'an 710032, China;

2.Department of Basics, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** A fear emotion inducing system is designed and implemented based on high-altitude VR interactive scene, which can provide lower limb somatosensory interaction. By the customized carbon structural steel springboard and its double barrel spring unit at the bottom, the system can produce human multi angle stress shaking after walking and trampling, and also can realize the shaking interaction in the virtual high-altitude scene with matched VR tracker. The system has the function modules of interactive display, pedal matching, virtual scene and experiment management, which can automatically store the physiological data of human, spatial position, time information and task performance during the induction process.

**Key words:** virtual reality; somatosensory interaction; fear; emotional induction

### 0 引言

高度是一种普遍的应激源, 它曾入选《科学美国人》杂志评出的人类最害怕的十大事物。流行病学研究表明大约三分之一的人或多或少具有高度不耐受, 具有一定的普遍性, 大对数人面对高处情景都会产生恐惧情绪, 区别在于表现出的恐高反应程度不同<sup>[1-3]</sup>。传统的情绪诱发方法通过爬梯、登高等实体暴露来诱发高度恐惧<sup>[4-5]</sup>, 因其场地条件、安全保障、流程控制等因素受限已不适合现有研究, 而虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术通过构造的虚拟环境来触发人生理和心理的反应, 能模拟高危高压情境, 同时极大程度上保障了人员安全, 可实现逐级升高、条件可控、可重复操作<sup>[6-8]</sup>。因此, 设计一种基

于高空 VR 交互场景的恐惧情绪诱发系统对于研究个体情绪诱发差异性、恐高反应倾向以及恐惧情绪对工作绩效的影响具有重要的意义。

### 1 总体设计

系统由 HTC VIVE 头盔、VR 交互手柄、背负式电脑、显示器、HTC VIVE 追踪器(VR 追踪器)、便携式生理信号采集仪以及定制的铝合金踏板组成, 总体结构如图 1 所示。背负式电脑用来运行程序, 生成虚拟现实画面, 通过 VR 技术模拟城市的建筑以及川流不息的车辆营造出较真实的高空楼宇氛围。VR 追踪器可标定铝合金踏板的外形、体积及晃动幅度, 将真实的踏板带入到虚拟世界中, 被试人员佩戴 VR 头盔后可在伸出房顶边缘的

\* 基金项目: 国家自然科学基金民航联合基金(U1933201); 国家自然科学基金青年科学基金(72101262); 陕西省重点研发计划(2022SF-052, 2022SF-180, 2022SF-101, 2022SF-114, 2022SF-428)

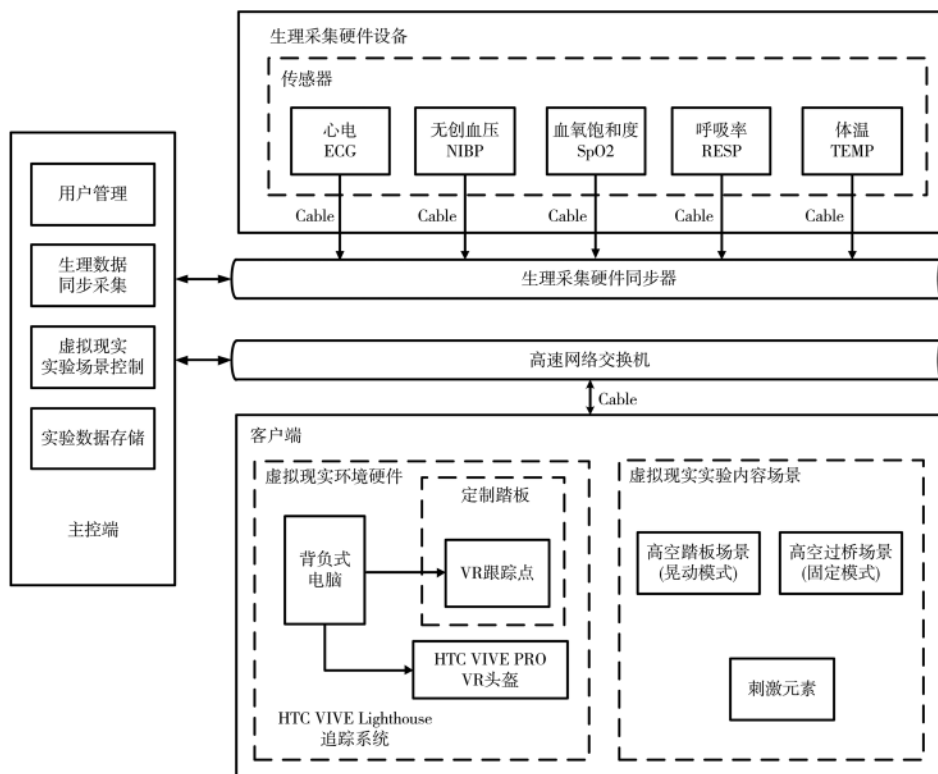


图1 系统总体结构

虚拟踏板上行走,通过头部移动可以看到脚下的房顶以及路面川流不息的“小汽车”,视角的变化给予了更强的代入感。在踏板上行走期间被试需使用VR交互手柄完成相应的“九灯剩余能力任务”进行工作绩效评估,同时将便携式生理信号采集仪放置于人员腰部的挎包,实时采集其心电、呼吸、皮温、血氧、血压等生理数据,从而分析整个过程被试自主神经系统特异性变化规律。

## 2 VR交互踏板设计

为实现在高空刺激场景下VR的体感交互,设计了一个长4.8 m、宽0.5 m的碳素结构钢踏板,如图2所示。踏板及底座采用分体式模块化设计,能够灵活快捷地部署于大多数室内外环境。底部安装有双筒式弹簧单元减震器,可赋予桥面上下晃动的自由度。由于双筒式弹簧单元两侧弹簧可以独立工作,因此同时赋予了桥面一定范围的侧向自由度,使得人体行走踩踏后产生多角度的应力晃动。为了增强恐惧情绪诱发效果及测验区分度,

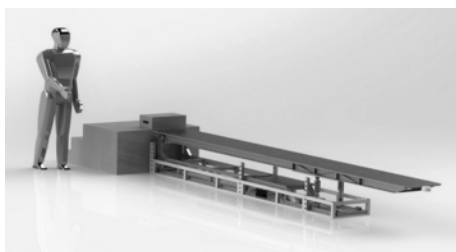


图2 碳素结构钢踏板

设计了3组不同的双筒式弹簧安装座来提升系统冗余度,通过改变双筒式弹簧单元的安装位置,可在较短时间内实现调整踏板弹跳刚度、弹跳幅度的目标,构成不同的难度级别。为配合虚拟现实(VR)设备部署,踏板前端设计了专门的虚拟现实追踪器安装槽,用于实现虚拟踏板与实际踏板体感同步结合的沉浸式体验效果。同时,设备具有稳定和晃动两种模式,通过支撑架,可以快速实现约束桥板晃动自由度的目的,使柔性桥面变换为刚性桥面。为保证人员安全,对踏板四周棱角进行了柔性包裹,同时地面还配有安全防护软垫。

## 3 软件设计

系统采用了Unity Technologies公司开发的三维游戏制作引擎Unity 3D,其凭借跨平台特性以及成熟的3D交互式内容开发环境已成为AR/VR开发领域最值得关注的平台之一<sup>[9-10]</sup>。软件按照功能模块划分可分为交互显示模块、踏板匹配模块、虚拟场景模块和实验管理模块四部分。

(1)交互显示模块:选用HTC VIVE虚拟现实头盔作为PC版本虚拟现实系统,其中配套的LightHouse作为位置跟踪设备,配套的HTC VIVE Pro手柄作为交互手柄跟踪设备<sup>[11]</sup>。

(2)踏板匹配模块:在虚拟实验体验环境中设置一个实物踏板,使用HTC Tracker VR追踪器<sup>[12]</sup>,实现虚拟踏板和真实踏板的视觉一致性,给被试带来更加沉浸逼真的体验。

(3)虚拟场景模块:用于支持进行心理实验过程中的各项实验内容场景,主要包括城市楼宇、虚拟踏板、刺激元素、九灯能力测验等。

(4)实验管理平台:用于支持人员管理,场景管理,生理数据同步采集、显示,实验数据记录功能。

系统提供全面的人机交互接口,支持在 Unity 3D 中的多种软件开发接口,包括交互手柄、追踪器等虚拟现实输入设备、生理信号采集设备等产生的数据实时接入到软件平台中的各项软件接口,用户可以实时地与虚拟场景产生交互,如图 3 所示。

软件系统采用了 C/S 架构,包括主控端和客户端,主控端实现用户管理、控制生理数据采集和显示、虚拟场景控制、实验数据存储等功能。背负式电脑作为客户端,实现控制虚拟现实头盔追踪、场景显示以及追踪器定位等功能,如图 4 所示。

### 3.1 主控端

主控端主要负责对整个实验过程的控制,其主控程

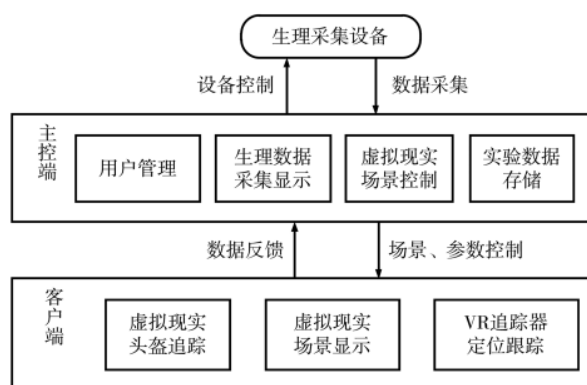


图 4 软件架构

序包含 4 个操作界面:基本信息、实验场景、生理监控、启动实验,界面如图 5 所示。基本信息界面主要记录实验的基本信息和被试的个人信息,在该界面中,主试可以输入实验名称、实验操作者以及被试的个人信息,其中被试人员信息栏主要记录被试的姓名、年龄、性别、编

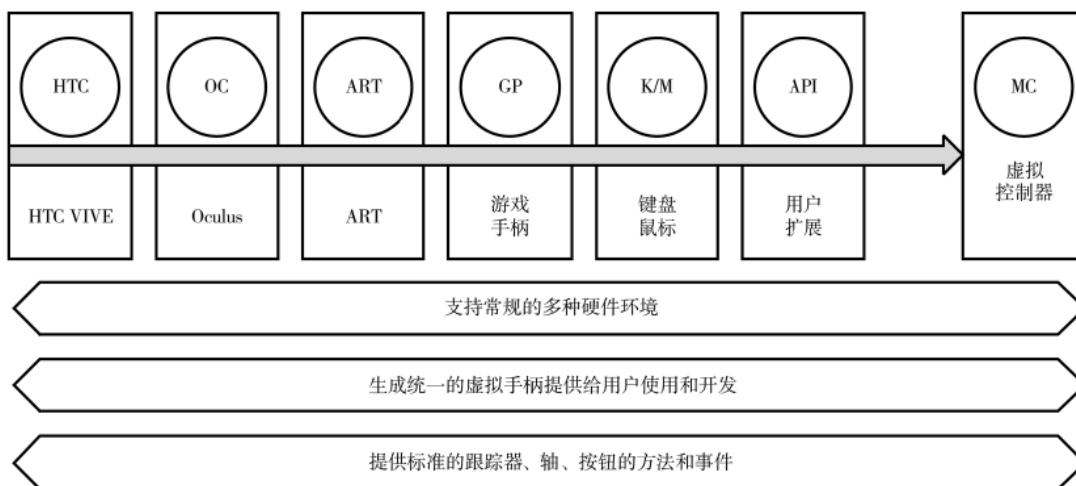


图 3 接口支持



图 5 主控端软件界面

号等数据。实验场景配置界面可对客户端将要看到的场景进行简单编辑,其中可以设定出生点类型、跳板和独木桥材质、实验高度、刺激元素、剩余能力以及实验时间。生理监控配置界面可对实验时对被试者采集的生理信息进行设定,可根据需求选择需记录的生理指标。

### 3.2 客户端

客户端主要功能是对虚拟场景进行渲染,输出 VR 头盔画面,同时与主控端建立通信,实现 VR 手柄及 VR 踏板的追踪器的交互,界面如图 6 所示。系统的实验数据储存亦由客户端进行控制,主要包括 VR 头盔输出的人员位置和时间信息,以及通过普瑞 JHY-40 多参数监控仪采集的生理信号数据指标(心电、无创血压、血氧饱和度、呼吸率、体温)。各项数据将自动记录到实验平台专用的 Excel 或者数据库中,以方便日后的分析查询。在实验过程中,还可以将生理信号数据通过蓝牙传输至主控端,实现生理信号的实时监测。



图 6 客户端软件界面

## 4 关键技术

### 4.1 踏板模型匹配

踏板的模型匹配主要是通过 HTC VIVE 的 Lighthouse 室内红外激光定位技术,基本原理就是利用配套定位光塔,对定位空间发射横竖两个方向扫描的激光,再通过 VR 追踪器上的接收器接收光束,之后计算两束光线到达定位物体的角度差,解算出待测定位节点的坐标<sup>[13]</sup>。获取到追踪器的位置后,将位置绑定到踏板的活动端,当追踪器位置发生上下位移时,会带动虚拟踏板的活动端上下移动,虚拟场景中的跳板添加了弹性控制脚本,随着活动端的移动,踏板会产生上下及左右晃动形变,模拟真实踏板的晃动效果。

### 4.2 九灯剩余能力任务

由于恐惧情绪会对个体认知产生影响,消耗个体注意资源,任务绩效一定程度上可作为情绪诱发效果和个体应对能力的参考,本系统设计了九灯剩余能力任务来评价任务绩效,如图 7 所示。剩余能力是指在完成核心任务(3 min 内在踏板上来回行走)的同时还能完成其他附加任务的能力<sup>[14-15]</sup>。具体实现方式为在 VR 视觉界面



图 7 九灯能力测验

正上方呈现“一”字排列的 9 个位置点,代表 9 个指示灯,颜色为红、黄、绿 3 种,九灯界面与被试的相对距离为 1 m,每 5 s 随机点亮其中一个指示灯,每种颜色的指示灯对应 VR 操作手柄上相应的按键,要求被试又快又准地按相应键进行反应,若按键正确,指示灯熄灭,若 3 s 内未按键或者错误按键,指示灯自动熄灭,自动记录被试按键情况及按键反应时间。

## 5 结论

本文着重论述了基于高空 VR 交互场景的恐惧情绪诱发系统构成、功能和关键技术,提出了一种在高空刺激场景下 VR 体感交互的方法。通过招募 20 名在校大学生进行实验测试,问卷调查结果表明该系统能够有效诱发恐惧情绪,具有较好的应用前景,可为高空作业相关岗位人员的情绪控制能力选拔及训练提供方法基础和研究平台。

## 参考文献

- [1] TEGGI R, COMACCHIO F, FORNASARI F, et al. Height intolerance between physiological mechanisms and psychological distress: A review of literature and our experience[J]. Acta Otorhinolaryngol Ital., 2019, 39(4): 263-268.
- [2] WUEHR M, BREITKOPF K, DECKER J, et al. Fear of heights in virtual reality saturates 20 to 40 m above ground[J]. Journal of Neurology, 2019, 266(1): 80-87.
- [3] LIU J, LIN L, WANG D V. Representation of fear of heights by basolateral amygdala neurons[J]. The Journal of Neuroscience, 2021, 41(5): 1080-1091.
- [4] TEACHMAN B A, STEFANUCCI J K, CLERKIN E M, et al. A new mode of fear expression: perceptual bias in height fear[J]. Emotion, 2008, 8(2): 296-301.
- [5] DO A, EMC A, CBE B, et al. Believing is seeing: Changes in visual perception following treatment for height fear[J]. Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 2019, 62: 1-6.
- [6] GROMER D, MADEIRA O, GAST P, et al. Height simulation in a virtual reality CAVE system: Validity of fear responses and effects of an immersion manipulation[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2018, 12: 372.
- [7] RIMER E, HUSBY L V, SOLEM S. Virtual reality exposure therapy for fear of heights: clinicians' attitudes become more positive after trying VRET[J]. Front Psychol, 2021, 12: 671871.
- [8] GROMER D, KISER D P, PAULI P. Thigmotaxis in a virtual human open field test[J]. Sci. Rep., 2021, 11(1): 6670.
- [9] 惠铎铎, 马进, 柳平, 等. 基于 VR 技术心理测试软件开发[J]. 计算机技术与应用, 2018, 28(2): 4.

(下转第 78 页)



- Optics & Laser Technology, 2020, 132(2): 106355.
- [4] XIAN Y, WANG X, YAN X, et al. Image encryption based on Chaotic sub-block scrambling and Chaotic digit selection diffusion[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2020, 134(1-2): 106202.
- [5] 杨雪松, 于万波, 魏小鹏. 基于复合超混沌系统且与明文相关联的图像加密[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(10): 3807-3810.
- [6] 董小雨, 冯秀芳. 基于动态密钥的彩色图像扩散加密算法[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(5): 1383-1391.
- [7] MATHIVANAN P, GANESH A B. QR code based color image stego-crypto technique using dynamic bit replacement and logistic map[J]. Optik, 2021, 225: 165838.
- [8] ZHEN P, ZHAO G, MIN L, et al. Chaos-based image encryption scheme combining DNA coding and entropy[J]. Multimedia Tools and Applications, 2016, 75(11): 6303-6319.
- [9] PARVIN Z, SEYEDARABI H, SHAMSI M. A new secure and sensitive image encryption scheme based on new substitution with chaotic function[J]. Multimedia Tools and Applications, 2014, 75(17): 10631-10648.
- [10] 费敏, 李国东. 基于 L-R 混沌系统和双重扩散的图像加密算法[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2021, 38(3): 290-299, 333.
- [11] UR REHMAN A, Di Xiao, KULSOOM A, et al. Block mode

image encryption technique using two-fold operations based on chaos, MD5 and DNA rules[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(7): 9355-9382.

- [12] UR REGMAN A, Liao Xiaofeng, HAHSMI M A, et al. An efficient mixed inter-intra pixels substitution at 2bits-level for image encryption technique using DNA and chaos[J]. Optik: Journal for Light- and Electronoptic, 2018, 153: 117-134.
- [13] YU J, GUO S, SONG X, et al. Image parallel encryption technology based on sequence generator and Chaotic measurement matrix[J]. Entropy, 2020, 22(1): 76.
- [14] 刘为超, 刘义沛. 基于 Logistic 混沌置乱的图像加密算法[J]. 科学技术创新, 2020(36): 125-126.
- [15] 韩雪娟, 李国东. 动态猫变换和混沌映射的图像加密算法[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(8): 2381-2387.

(收稿日期: 2021-04-01)

#### 作者简介:

张文字(1996-), 女, 硕士, 主要研究方向: 图像处理、混沌密码学。

幸荣盈(1998-), 女, 硕士, 主要研究方向: 数据挖掘。

李国东(1972-), 通信作者, 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 图像处理、数据挖掘, E-mail: lgdzhzy@126.com。



扫码下载电子文档

(上接第 68 页)

chronous panel discussion: What are Cloud-Native applications[J]. IEEE Cloud Computing, 2017, 4(5): 50-54.

- [9] 高宇. 基于云原生的拓扑服务系统的设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [10] 梁伟, 杨明川, 冯明. 应用性能管理技术的研发与应用[J]. 电信技术, 2017(6): 42-45.

(收稿日期: 2021-06-06)

(上接第 72 页)

- [10] 李虹, 陆培培. 基于 Unity3D 的虚拟动画系统设计[J]. 现代电子技术, 2021, 44(8): 5.
- [11] 闫兴亚, 王馨梅, 魏梦婕. 基于虚拟现实的丝绸之路交互系统的设计与开发[J]. 计算机与数字工程, 2020, 48(4): 838-842.
- [12] 李卫强, 曹辉. VR 机舱人机交互姿态追踪器的算法设计[J]. 航海工程, 2018, 47(4): 4.
- [13] YANG Y, WENG D, LI D, et al. An improved method of pose estimation for lighthouse base station extension[J]. Sensors(Basel), 2017, 17(10): 2411.
- [14] 胡文东, 张利利, 马进, 等. 人体剩余能力检测装置及其

#### 作者简介:

陈波(1989-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: 计算机应用技术及网络安全。

吴云峰(1977-), 男, 硕士研究生, 正高级工程师, 主要研究方向: 控制工程及网络安全。

卢凯(1977-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 控制工程及网络安全。



扫码下载电子文档

灯控阵列: 中国, CN103417227[P]. 2013-12-04.

- [15] 唐孟军, 胡文东, 马进, 等. 地面模拟航空险情及有效性评价[J]. 中华航空航天医学杂志, 2017, 28(2): 5.

(收稿日期: 2021-05-19)

#### 作者简介:

丛林(1989-), 男, 硕士研究生, 助理研究员, 主要研究方向: 人因与工效学、应用心理学。

杨菁华(1983-), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 应用心理学、高教英语。

孙继成(1989-), 通信作者, 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向: 人因与工效学、应用心理学, E-mail: sjcfm-mu@163.com。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所