

面向虚拟现实模拟平台的动作编辑系统设计

胡茜雯¹, 杨赫², 方海¹, 万千¹

(1.广东工业大学, 广州 510030; 2.北京乐客灵境科技有限公司, 北京 100089)

摘要: **目的** 解决体感设计中虚拟现实模拟平台动作设计面临的技术门槛高、动作难以灵活编辑等问题, 优化动作设计流程, 提高体感设计师的设计质量。**方法** 通过对现有虚拟现实模拟平台的动作编辑过程和需求进行分析, 提出一种非参数化的 VR 模拟平台动作编辑系统, 对动作编辑系统的功能构架、操作流程和软件界面进行设计, 实现了 VR 模拟平台动作设计的非线性编辑和关键信息可视化等功能。**结论** 所构建的动作编辑系统可以提高设计的可操作性, 并有效提升体感设计的质量, 论证了新系统的有效性和可行性, 探讨了新手和专家体感设计师在借助不同系统进行设计时, 设计工效评价的差异, 为 VR 体感设计研究提供了参考和技术支持。

关键词: 虚拟现实模拟平台; 动作编辑; 系统设计; 体感设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)12-0099-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.12.010

Design of Motion Editing System for Virtual Reality Simulation Platform

HU Qian-wen¹, YANG He², FANG Hai¹, WAN Qian¹

(1.Guangdong University of Technology, Guangzhou 510030, China;

2.Beijign Leke VR Technology Co., Ltd., Beijing 100089, China)

ABSTRACT: The paper aims to solve the problems in motion design of virtual reality simulation platform, such as high technical threshold and difficulty in flexible editing of motion, optimize the motion design process, and improve the design quality of motion designers. Following the existing virtual reality simulation platform action editing process and demand analysis, a non-parametric VR simulation platform motion editing system is proposed. The functional architecture, operation flow and software interface of the motion editing system are designed to realize the nonlinear editing of VR simulation platform motion design and the visualization of key information. The motion editing system can not only improve the operability of the design but also effectively improve the quality of motion sensing design. The motion editing system can not only improve the design operability, but also effectively improve the quality of motion sensing design, which proves the effectiveness and feasibility of the new system. At the same time, the differences of design ergonomics evaluation between novice and expert somatosensory designers when designing with different systems are discussed, which provides reference and technical support for VR somatosensory design research.

KEY WORDS: virtual reality simulation platform; motion editing; system design; somatosensory design

随着社会生产力和科学技术的不断发展, 各行业对虚拟现实技术 (Virtual Reality, VR) 的需求日益旺盛, VR 模拟平台作为 VR 体验的重要载体也随之不断成熟、普及, 并广泛应用于工业、科教、医疗、娱乐等领域^[1-4]。体感设计指对人体躯体感觉进行设计, 是包含触觉、压觉、温觉和本体感觉的总体设计^[5], 对模拟平台进行体感设计指对用户体验场景中所感

觉的运动状态进行仿真模拟。现有 VR 模拟平台的动作设计仍存在一定的局限性, 常需在动作编辑环节花费较多的精力, 且设计质量较依赖设计师的技术水平^[6-7]。目前, 市场上应用于 VR 模拟平台的动作编辑系统, 主要是通过模拟量采集的方式来实现动作的录入, 以配合 VR 全景影片的情节内容。然而, 模拟量输入的设计方式会导致模拟器录入的动作与 VR 全景

收稿日期: 2022-01-12

作者简介: 胡茜雯 (1991—), 女, 博士, 主要研究方向为工业设计与创意产品。

影片的同步性存在误差,且后期编辑过程烦琐,对体感设计师的技术门槛要求较高,进而出现VR体感设计的质量可控性差、可操作性低、工作负荷高等问题。在VR体验中,当画面与动作存在误差时,不仅会严重影响体感评价,还容易引起用户的眩晕感^[8-9]。为了达到优良的体感体验,需要体感设计师在动作设计时尽可能地和谐与精准^[10]。通过对现有VR模拟平台动作编辑设计流程的优化,以及系统可视化设计,可以提高设计操作的有效性和完成质量,降低工作认知负荷,对提高VR体感设计工效具有重要意义。

1 VR 动作编辑需求分析

VR模拟平台是指辅助VR头显以增强体感的一系列物理载体,根据情节内容可以是多种形式。在被动式体验中,VR模拟平台主要为座椅、车船等形式,

见图1,旨在增强VR全景影片的情景真实感,例如乘坐太空船体验太空漫游,太空船作为VR模拟平台可以随飞行情景完成上升、下降、颠簸等动作^[11]。VR模拟平台体感设计的质量直接影响用户体验的效果,尤其在被动式体验中有着突出的作用^[12-13]。虽然VR模拟平台的造型形式多样,但实现其运动的机构较为单一,主要为单自由度、三自由度和六自由度模拟平台。在现有VR模拟平台动作设计模式中,仅能通过将模拟器连接电脑进行模拟量储存来实现简单的线性记录功能,无法同时呈现相关信息,而VR模拟平台动作设计是将动作设想通过合理、周密的规划表达出来的复杂过程,动作录制难以一蹴而就,需要对动作数据进行多次编辑、局部调整和反复调用,见图2。

通过对现有VR模拟平台动作设计问题与需求进行调研访谈,可将VR模拟平台动作编辑需求和设计



图1 VR模拟平台的多种形式
Fig.1 VR simulation platform in a variety of forms



图2 以六自由度VR模拟平台动作设计为例
Fig.2 Take the motion design of 6-DOF VR simulation platform as an example

约束总结为以下 3 个方面:

1) 关键功能性需求: 动作的灵活录制和编辑, 编辑动作中可自动同步 VR 全景影片, 实现复杂动作的拆解, 并可分别进行非线性化编辑。

2) 辅助功能性需求: 扩展自建动作素材库, 解决现有设计中的数据结构单一、关键信息无法显示、项目文件管理和维护不便等问题。

3) 设计约束: 该系统需适用于市面上常见的单自由度加旋转模拟平台、多自由度(三自由度/六自由度)加旋转模拟平台、多自由度(三自由度/六自由度)加特效模拟平台等。

可视化是利用计算机图形学和图像处理技术, 将抽象数据信息转换成图形或图像, 以呈现和实现交互的理论和方法。复杂信息的图形化可以把直观显示和动态交互的特征加以统一, 不仅可以使操作者一目了然地掌握主要信息, 还可以通过改变图形直接对具体的动作数据进行操作, 极大地提高了可操作性和有效性, 具有全局审视、增强理解、简化复杂性等优点^[14-15]。构建 VR 模拟平台动作编辑需求与设计的映射关系, 旨在明确系统功能与可视化形式, 见图 3。

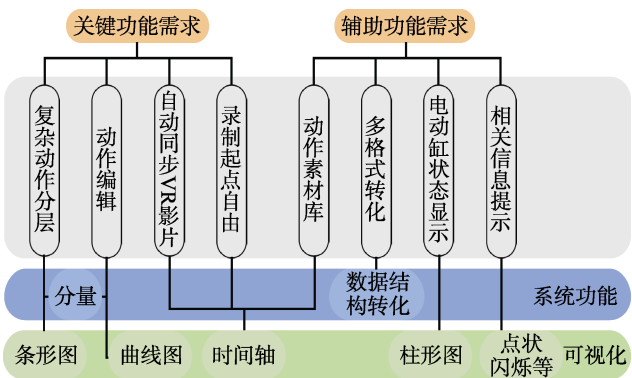


图 3 VR 模拟平台动作编辑需求与设计的映射关系
Fig.3 Mapping between motion editing requirements and design for VR simulation platform

2 VR 动作编辑系统设计

基于以上分析, 提出了一种 VR 模拟平台动作编辑系统 (VR Simulation Platform Motion Editor)。

2.1 系统模块设计

该系统的主要组成包括以下 4 个部分:

1) 编辑模块: 采用分量曲线编辑形式, 简化编辑规则, 可删除、复制、剪切、缝合任意动作节段; 可自由移动动作时间起止点; 可自由缩放动作时长等。

2) 保存和调取模块: 可建立动作素材库, 对已录制的动作片段进行保存, 方便遇到类似的设计时可直接进行调取, 无需再次录制。

3) 信息可视化模块: 以轨线形式实时记录动作轨迹, 可对每个电动缸进行曲线分量的单独编辑; 可

对多条轨线进行可见与隐藏设置; 可实现运动电动缸的实时状态显示。

4) 模拟平台与影片同步模块: 开始录制动作时, 自动同步 VR 全景影片播放位置; 当移动时间轴上的动作时间点时, VR 全景影片画面和 VR 模拟平台(各电动缸位置)会同步至当前的时间点状态。

将现有 VR 模拟平台动作设计模式与新系统 VR 模拟平台动作设计模式进行对比, 见表 1。

表 1 现有模式与新系统对比
Tab.1 Compare existing patterns with new systems

对比项	(传统) 现有模式	新系统模式
动作编辑规则	线性	非线性
动作编辑形式	参数化	非参数化
同步模式	手动	自动
复杂动作(多动作+多特效)	多人配合	分层录制
电动缸状态	无显示	实时显示
数据结构	单一	多样化
关键信息	无显示	可视化

2.2 流程设计

新系统优化了体感设计中 VR 模拟平台的动作设计流程, 见图 4。在现有动作编辑流程中, 需要同时打开 2 个软件, 并在开始时进行手动同步开始。在整个动作设计过程中, 如某个动作或某段动作的节选出现问题, 则需要重新进行设计。新系统在开始动作设计时, 无需手动同步 VR 全景影片播放软件和动作录制软件, 如某个动作或某段动作的节选出现问题, 可仅对部分问题动作进行重新录制或编辑。

2.3 软件操作可视化设计

动作数据可视化是该系统设计的主要对象。动作设计的类型主要包括基础动作和特效动作, 其数据呈现具有不同特点。基础动作对应连续数据, 主要反映动作在一个连续的时间间隔或者时间跨度上的变化, 其特点是能够反映出事物随时间变化的轨迹。特效动作对应分类数据(即开关数据), 主要反映在某个时间点或时间跨度上互不相容的类别或属性, 其特点是类别或属性的区别显示。区别于现有系统仅能记录数据信息的模式, 新系统对连续数据采用分量曲线显示与编辑的形式, 分类数据采用块状记录, 在当前时间点运行时呈现出闪烁的状态。此外, 增加了电动缸状态、外设模拟器连接指示等显示功能, 以增强体感设计师在动作设计中对抽象信息的感知。为了实现动作操作的可视化, 可以在设计过程中将非结构化数据同时呈现在软件界面中, 便于体感设计师选取关键部分和细节, 从而提高动作数据编辑的可操作性。

VR Simulation Platform Motion Editor 主界面见图 5, 主要功能分区包括文件信息显示区(图 5 中的

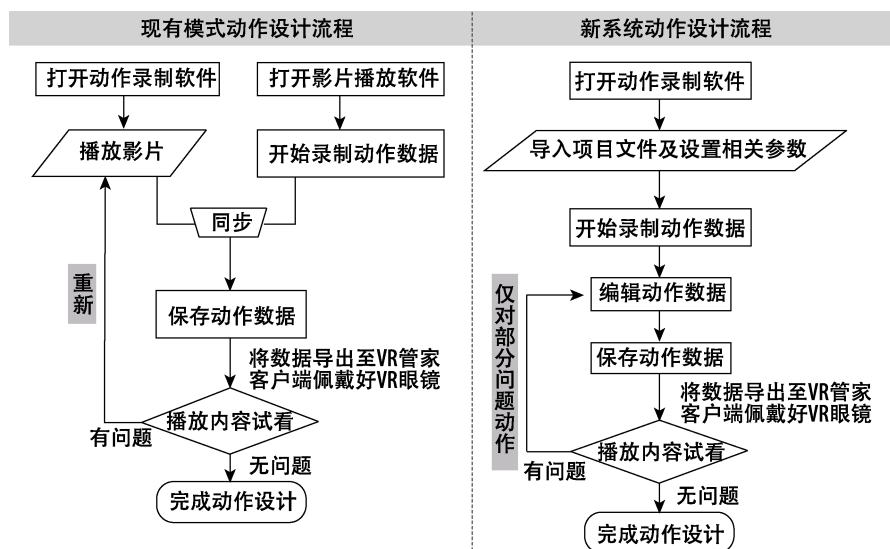


图 4 动作设计流程对比
Fig.4 Motion design flow comparison

①)、VR 全景影片实时显示区 (图 5 中的②)、外设模拟器对应指示区 (图 5 中的③)、电动缸升降模拟显示区 (图 5 中的④)、录制按钮区 (图 5 中的⑤)、特效动作实时显示区 (图 5 中的⑥)、时间轴 (图 5 中的⑦)、动作轨线功能开关 (图 5 中的⑧) 以及动作录制曲线实时区 (图 5 中的⑨)。在动作录制曲线实时区域中双击动作轨线, 即可进入该条动作的分量曲线编辑页面, 见图 6。该界面包含编辑功能按键区

(图 6 中的⑩)、时间轴 (图 6 中的⑪) 以及分量曲线编辑区 (图 6 中的⑫)。

3 设计工效评价

为了验证所构建的 VR 模拟平台动作编辑系统 (VR Simulation Platform Motion Editor) 对设计师设计工效的改善情况, 对新手和专家体感设计师在使用现有模式和新动作编辑系统时的有效性、效率、设计质量, 以及工作负荷的具体影响等方面进行了相关对比分析。

3.1 被试者

招募了体感设计师 20 人 (男性), 其中新手体感设计师 10 人 (具备 1~6 个月的操作经验), 专家体感设计师 10 人 (具备 1~2 年的操作经验), 被试者的平均年龄为 27.05 岁, 标准差 (SD) 为 2.837。所有被试者均具备独立进行 VR 模拟平台动作设计操作的能力, 右利手, 实验前情绪平稳且睡眠充足。

3.2 实验任务与过程

选取内容为“地心探险”的 VR 全景影片作为编辑素材, 全片时长 43 s, 共 16 个动作任务, 具体包含前倾、后倾、左倾、右倾、晃动等 10 个基础动作, 以及吹风、震股、推背等 6 个特效动作。被试者首先采用传统 VR 模拟平台动作设计模式独立完成实验任务, 随后对 2 组被试者进行了相同时间和内容的新系统培训, 此后被试者采用新系统独立完成所有的实验任务。传统模式和新系统的实验影片除内容节选不同之外, 在时长、任务数量和任务难度上均保持一致, 以消除熟悉度对被试者的影响。在每位被试者完成所有的实验任务后, 填写主观工作负荷评价问卷。最后, 5 位专业体感测试人员对每位被试者完成的动作文件

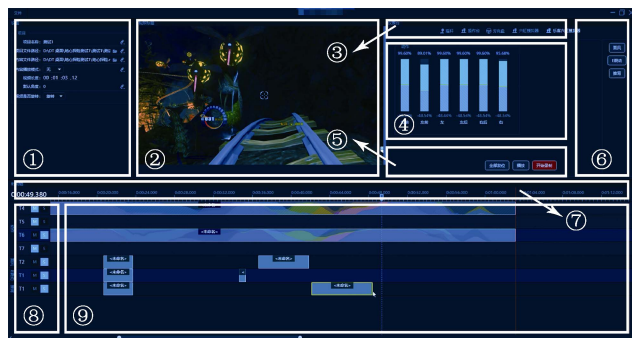


图 5 VR Simulation Platform Motion Editor 主界面
Fig.5 VR Simulation Platform Motion Editor main interface

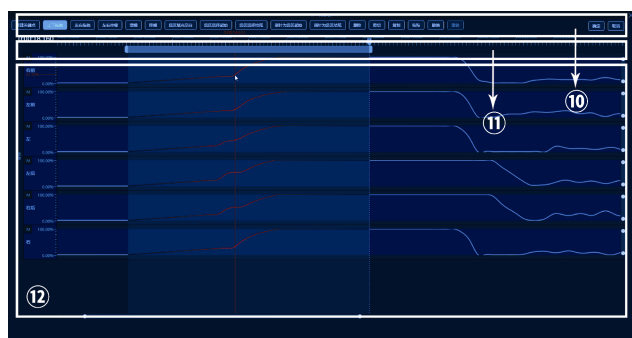


图 6 VR Simulation Platform Motion Editor 曲线分量编辑界面
Fig.6 VR Simulation Platform Motion Editor curve component editing interface

进行体感评价。所有实验过程中被试者的操作活动被一台物理监视器全程记录，且对所操作的电脑进行同步录屏。

3.3 设计工效评价指标

为测量新系统对体感设计师设计工效的影响，采

用 SUMI（软件可用性测试）等常用的系统操作绩效测评指标与测评方法，结合此次实验的目的，最终选择任务完成率、出错次数、特定操作错误次数、任务完成总操作时间、任务完成总操作次数、完成质量和主观工作负荷评价作为评价指标，分别对应有效性、效率、质量以及工作负荷等方面，见表 2。

表 2 设计工效评价指标
Tab.2 Design ergonomic evaluation index

维度	指标	具体内容	指标类型
任务完成有效性	任务完成率	体感设计师能在多大程度上有效地完成一系列既定的任务，反映体感设计师正确完成任务的情况	比率
	出错次数	在完成过程中会出现与预定操作序列或方式不一致的情况	计次
	特定操作错误次数	出现某种错误类别的次数。VR 模拟平台动作设计过程中，常见的错误类型主要有动作与画面不一致（ E_1 ）、动作时间点错位（ E_2 ）、动作幅度不匹配（ E_3 ）以及动作时长不匹配（ E_4 ）	计次
任务完成效率	任务完成总操作时间	体感设计师完成所有任务操作的总时间，也包括在操作过程中出现错误操作但及时改正的时间。	计时
	任务完成总操作次数	体感设计师从开始操作到操作结束总共的操作次数，如摇动模拟器、点击鼠标等	计次
任务完成质量	完成质量	专业体感测试人员对体感设计师编辑完成的动作文件进行体感评价，采用 5 点李克特量表（5 惊喜，明显优于现有水平；4 高于现有水平；3 一般，现有水平无区别；2 低于现有水平；1 极差，远低于现有水平）	量表
任务工作负荷	工作负荷	采用主观感受 5 点李克特量表进行自评（5 完全不接受，仍需大量培训才能完成任务；4 部分接受，需要额外进行部分培训才能完成任务；3 可接受，可以完成，但有些难度；2 很好，很轻松地完成了多数任务；1 舒适，很轻松地完成所有任务）	量表

3.4 实验设备

实验设备主要有 1 台六自由度手持模拟器、1 台六自由度模拟平台、1 台安装该软件的台式电脑（Windows 10，64 位）以及 1 副 VR 头显。

3.5 数据处理结果

采用 SPSS 22.0 统计软件对数据进行分析。2 组数据的均数比较采用独立样本 t 检验，新系统前后数

据比较采用配对样本 t 检验。计量资料以均值（标准差）表示， $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

3.5.1 现有系统的设计工效分析

在使用新系统前，新手组与专家组在任务完成率、出错次数、任务完成总操作时间、任务完成总操作次数、完成质量以及工作负荷指标等方面无显著差异（ $P>0.05$ ）。

2 组数据对比分析，见表 3。2 组任务完成率均

表 3 2 组前测数据（独立样本 t 检验）
Tab.3 Two sets of pre-test data (independent t-test)

指标	新手组	专家组	P 值
任务完成总操作时间（s）	1 885.80（465.64）	1 503.20（341.46）	0.05
任务完成总操作次数	258.70（58.53）	187.90（55.08）	0.01
出错次数	24.20（6.53）	13.5（3.60）	0.00
特定操作错误次数	E_1 13.30（3.83）	3.50（1.84）	0.00
	E_2 6.50（1.72）	4.80（2.04）	0.06
	E_3 2.80（2.20）	3.30（1.77）	0.58
	E_4 1.60（1.35）	1.90（1.79）	0.68
完成质量	3.09（0.36）	3.45（0.32）	0.03
工作负荷	4.00（0.82）	3.50（0.53）	0.09

为 100%，在任务完成总操作时间、总操作次数、出错次数、完成质量等方面呈显著差异 ($P<0.05$)，新手组的任务完成总操作时间明显高于专家组的任务完成总操作时间，新手组的任务完成总操作次数明显高于专家组的任务完成总操作次数，新手组的出错次数明显高于专家组的出错次数，新手组的完成质量明显低于专家组的完成质量，说明专家体感设计师在操作的有效性、效率和完成质量上都明显优于新手体感设计师，两者还存在一定的差距，新手体感设计师如要达到专家水平还需要投入较多的时间和学习成本。

在工作负荷方面，新手组与专家组无显著差异 ($P>0.05$)，新手组的工作负荷评价略高于专家组，这可能是由于传统 VR 模拟平台动作设计模式需要极强的眼手配合能力，同时对手感的要求较高，而新手体感设计师对动作设计了解的时间较短，还不能完全掌控此类操作。

3.5.2 新系统的设计工效分析

在使用新系统后，2 组任务的完成率没有变化(均为 100%)，对其他数据进行对比分析，结果见表 4。

表 4 2 组后测数据 (独立样本 t 检验)
Tab.4 Two sets of post-test data (paired t-test)

指标		新手组	P 值	专家组	P 值
任务完成总操作时间 (s)		3 294.3 (629.30)	0.00	2 593.8 (458.48)	0.00
任务完成总操作次数		742.1 (199.28)	0.00	621.8 (82.54)	0.00
出错次数		12.9 (8.05)	0.01	7 (4.19)	0.01
特定操作错误次数	E_1	5.6 (3.63)	0.00	2.1 (2.96)	0.26
	E_2	4.8 (5.43)	0.36	2.5 (2.64)	0.05
	E_3	1.8 (1.62)	0.12	1.5 (1.43)	0.01
	E_4	0.7 (1.25)	0.20	0.9 (0.99)	0.10
完成质量		3.833 2 (0.19)	0.00	3.832 8 (0.23)	0.00
工作负荷		2.4 (0.70)	0.00	2.4 (0.84)	0.00

在有效性方面，从新手组的前后测数据可以看出，在出错次数和特定操作错误次数 (E_1) 方面呈显著差异 ($P<0.05$)，出错次数从使用前的 24.20 下降至 12.9，特定操作错误次数 (E_1) 从 13.30 下降至 5.6。对专家组的前后测数据进行分析可知，在出错次数和特定操作错误次数 (E_3) 方面呈显著差异 ($P<0.05$)，出错次数从使用前的 24.20 下降至 12.9，特定操作错误次数 (E_3) 从 3.30 下降至 1.5。说明新系统可以明显降低体感设计师的出错次数，且会降低不同层次的体感设计师的部分典型错误，后续研究可深入分析不同设计方式对特定操作错误比率的影响。

在效率方面，从新手组的前后测数据可以看出，在任务完成总操作时间和任务完成总操作次数方面呈显著差异 ($P<0.05$)，任务完成总操作时间从使用前的 1 885.80 上升至 3 294.3，任务完成总操作次数从使用前的 258.70 上升至 742.1。从专家组的前后测数据可以看出，在任务完成总操作时间和任务完成总操作次数方面呈显著差异 ($P<0.05$)，任务完成总操作时间从使用前的 1 503.20 上升至 2 593.8，任务完成总操作次数从使用前的 187.90 上升至 621.8。说明 2 组任务在使用新系统后设计时长和操作次数有明显增加，这可能是由于新系统为设计提供了更多的编辑功能，体感设计师在设计中有更多的可选项，会进行多次反复对比。

在完成质量方面，对于新手组，使用新系统前后的完成质量呈明显差异 ($P<0.05$)，从使用前的 3.09

提升至使用后的 3.833 2。对于专家组，使用新系统前后的完成质量呈明显差异 ($P<0.05$)，从使用前的 3.45 提升至使用后的 3.832 8。由此可见，在使用新系统前，新手组与专家组仍有一定差距，但经过培训后，新手组与专家组的完成质量极为接近，都提高到了一个较高的层面。

在主观工作负荷方面，对于新手组，使用该系统前后的主观工作负荷评价呈明显差异 ($P<0.05$)，从使用前的 4.00 降低至使用后的 2.4。对于专家组，使用该系统前后的主观工作负荷评价呈明显差异 ($P<0.05$)，从使用前的 3.50 降低至使用后的 2.4。说明新系统可有效降低体感设计师的工作负荷，尤其对新手组的效果更为明显。

综上所述，虽然新系统会使设计时长在一定程度上有所增加，但在提高操作有效性、设计完成质量以及降低工作认知负荷等方面有明显改善。此次研究选取的任务影片时长较短，然而在实际情况中，体感设计师会连续多个小时进行动作设计活动，在长时间的设计作业中操作工效可能会有所差异，可在未来进一步深入研究。

4 结语

VR 体感设计作为 VR 产业发展带动的新领域，在发展中存在一定的局限性。VR 体感设计具有载体丰富化、视角多样化和设计过程动态化等特点，其中面向 VR 模拟平台的动作编辑是 VR 体感设计中较为

常见和基础的一种形式。VR 模拟平台的动作设计质量是影响 VR 体感体验的重要因素之一,通过对现有 VR 模拟平台动作编辑过程和需求进行分析,提出了一种面向 VR 模拟平台的动作编辑系统,主要从设计思维与功能架构、操作流程、信息可视化 3 个方面进行了改进与优化。通过设置 2 组对比实验,对其新系统的设计工效进行分析,论证了新系统在提高操作有效性、设计质量,以及降低工作认知负荷等方面有明显改善。然而,由于体感设计师自身的学习能力和理解能力存在差异性,所以需要在后续的研究中进行更为深入的量化分析和研究,进一步发掘影响体感设计工效的更深层次的因素。

参考文献:

- [1] 张衡. 以开放包容合作共赢惠及全球[N]. 中国财经报, 2020-09-08(1).
ZHANG Heng. Openness, Inclusiveness and Win-win Cooperation will Benefit the Whole World[N]. China Financial News, 2020-09-08(1).
- [2] 胡茜雯, 万千, 方海. 基于 TOC 和 TRIZ 理论的儿童下肢康复训练仪改良设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(18): 109-117.
HU Qian-wen, WAN Qing, FANG Hai. Improved Design of the Lower Limb Rehabilitation Machine for Children Based on TOC and TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(18): 109-117.
- [3] 刘明明, 高楠, 刘全东, 等. 虚拟现实技术在核电厂主控制室设计中的应用及探索[J]. 上海交通大学学报, 2019, 53(S1): 29-32.
LIU Ming-ming, GAO Nan, LIU Quan-dong, et al. Application and Exploration of Virtual Reality Technology in Main Control Room Design of Nuclear Power Plant[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2020, 41(18): 109-117.
- [4] 潘长学, 王兴宇, 张蔚茹. 基于虚拟现实技术的医学解剖教学沉浸式交互设计研究[J]. 装饰, 2020(3): 66-69.
PAN Chang-xue, WAN Xing-yu, ZHANG Wei-ru. Research on Immersive Interactive Design of Medical Anatomy Teaching Based on Virtual Reality Technology[J]. Art & Design, 2020(3): 66-69.
- [5] 胡文博, 王余烈. 基于 Kinect 体感设计的未来趋势[C]//2017 全国工业设计教育研讨会暨国际工业设计高峰论坛论文集. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.
HU Wen-bo, WANG Yu-lie. Future Trends in Kinect Based Motion-sensing Design[C]//2017 National Industrial Design Education Seminar and International Industrial Design Summit Forum Proceedings. Beijing: China Light Industry Press, 2017.
- [6] 杨涛, 张晶鑫, 屈征, 等. 一种 VR 动作编辑系统: 中国, CN109240483A[P]. 2019-01-18.
YANG Tao, ZHANG Jin-xin, QU Zheng, et al. A VR Motion Editing System: China, CN109240483A[P]. 2019-01-18.
- [7] 蒋宁, 马青浙. 一种虚拟现实应用软件动作的编辑系统及编辑方法: 中国, CN109326005A[P]. 2019-02-12.
JING Ning, MA Qing-zhe. The Utility Model Relates to a Virtual Reality Application Software Motion Editing System and Editing Method: China, CN109326005A[P]. 2019-02-12.
- [8] 迪建. 虚拟现实 VR 产品及其产业链探究[J]. 集成电路应用, 2016(3): 16-20.
DI Jian. Research on Virtual Reality VR products and its industrial chain[J]. Application of IC, 2016(3): 16-20.
- [9] 黄凯, 吕健, 潘伟杰. 体感展示系统中的交互映射动作分析与研究[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 140-143.
HUANG Kai, LYU Jian, PAN Wei-jie. Analysis and Research on Mapping Actions of Somatosensory Interaction Display System[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(14): 140-143.
- [10] 魏晓光, 唐潇, 张倩. 基于真实感的虚拟现实关键技术研究[J]. 现代电子技术, 2019, 42(9): 111-114.
WEI Xiao-guang, TANG Xiao, ZHANG Qian. Research on Virtual Reality Key Technologies Based on True Sense[J]. Modern Electronics Technique, 2019, 42(9): 111-114.
- [11] 吴南妮. 沉浸式虚拟现实交互艺术设计研究[D]. 北京: 中央美术学院, 2019.
WU Nan-ni. Research on interactive Art Design of Immersive Virtual Reality[D]. Beijing: Central Academy of Fine Arts, 2019.
- [12] 钟平丹. 吸引力电影: 从视觉到体感[J]. 中外文化与文论, 2019(2): 194-205.
ZHONG Pin-dan. Attraction Movies: From Sight to Body[J]. Cultural Studies and Literary Theory, 2019(2): 194-205.
- [13] 谢巍, 秦宝荣, 曾健, 等. 含防扭结构的 VR 动感椅平台运动分析和仿真[J]. 机电工程, 2016, 33(11): 1344-1348.
XIE Wei, QIN Bao-rong, ZENG Jian, et al. Motion Analysis and Simulation of VR Dynamic Chair with Anti-twist Structure[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(11): 1344-1348.
- [14] 廖列法, 张幸平. 基于 iOS 的智能可视化指挥系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(11): 3269-3274.
LIAO Lie-fa, ZHANG Xin-ping. Design and Implementation of Intelligent Visualization Command System Based on iOS[J]. Computer Engineering and Design, 2020, 41(11): 3269-3274.
- [15] 王继光, 牛凡, 刘友. 供应链可持续、可视化能力对绩效影响研究[J]. 科学与管理, 2020, 40(6): 36-43.
WANG Ji-guang, NIU Fan, LIU You. Research on the Impact of Supply Chain Sustainability and Visualization Ability on Performance[J]. Science and Management, 2020, 40(6): 36-43.

责任编辑: 马梦遥