

虚拟现实技术及其在工效学 研究中的应用

姜国华 陈善广 周前祥 王春慧 张宜静
(北京航天医学工程研究所工效学研究室 100094)

摘要: 虚拟现实是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统,作为新兴人机交互技术有非常明显的技术特点和广泛的应用范围。本文详细阐述了虚拟现实系统的体系组成、技术现状及其在国内外工效学领域的研究进展,并结合具体实验研究介绍作者正在进行的研究工作。

关键词: 虚拟现实 工效学 人机交互技术



1 引言

虚拟现实 (Virtual Reality, 简称VR) 是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统 [1], 是基于图形学、电子显示、语音识别/合成及传感器等技术基础上发展起来的一门综合仿真技术。

作为一门新兴人机界面技术, 其特点突出体现在以下几方面:

(1) 继承了传统计算机仿真技术的优点, 具有更高的灵活性。通过修改软件模型即可满足新任务的仿真模拟, 十分灵活、方便;

(2) 节省研究经费。传统的工效学实验模拟方法 (物理或板物理): 一项任务一套设备; 采用虚拟现实技术进行仿真: 不同任务可共用一套通用设备。VR 研究初期投入费用较高, 但其重复使用率好、通用性强, 长期而言, 可大大节省经费投入;

(3) 突破环境限制。传统仿真技术实现不了的或有危险性的研究, 如地面模拟航天出舱活动或火灾救生等, 若通过虚拟现实来实现, 将拓展出新的研究领域。

正是由于上述特点, 在国际上虚拟现实技术应用范围越来越广。在工效学领域, 也将研究水平和手段推向了一个新高度。

2 虚拟现实技术的组成及现状

VR 作为一种新型的人机交互系统, 如图 1 所示, 主要由三部分组成 [2]:

2.1 软硬件环境

(1) 软件。生成逼真的视景是软件的重要任务。构建多边形生成视景图形, 是最常用的方法。简单的应用项目可遵从 OpenGL 标准从底层函数开发, 复杂视景的项目, 最好采用专用工具软件开发, 提高进度。目前, 国际上已有多家公司研制了专用 VR 软件, 供用户二次开发, 如 Worldtoolkit、Performer 和 Multigen & Vega 等, 其基本模块可用于建模、物体加纹理、色彩、光照、三维声音效果等动态视景的开发和驱动, 专用模块还可模拟虚拟人体模型, 产生面部表情和身体变化, 等等。功能越来越多, 实时性很强, 是目前最丰富的仿真工具。

(2) 硬件。VR 系统的真实性与两个因素密切相关: 系统相应的时间延迟 (可视数据库或视觉参数的变化与屏幕显示的变化之间的滞后时间) 和构建图形的多边形个数。延迟时间低于 10ms (人体检测的阈值), 真实性较强, 延迟越长, 用户“等待”越长, 真实性就越差; 构建图形的多边形越多, 图形越细, 视觉效果越逼真, 但计算和屏幕刷新的时间就越长, 延迟就可能越大。这是一对矛盾, 研制过程中, 应采取折中的方法解决。

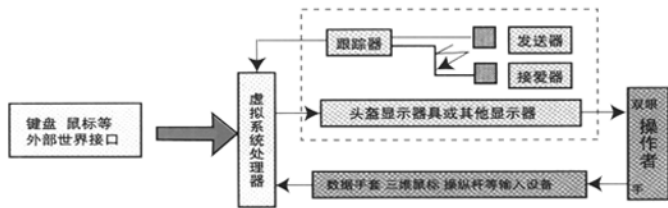


图 1 虚拟现实系统组成示意图

算法和硬件性能是决定延迟时间的主要因素，前者与软件性能有很大关系。目前硬件平台的配置分为：微机（加图形加速卡）、微机工作站和高档图形工作站三个档次，实时性最好的 SGI 公司的 ONXY2 多 CPU 并行图形工作站。应根据研究项目所需视景的繁简程度和真实性要求，来选择视景图象生成器的配置。若项目不是用来模拟训练，不必过分追求实时性指标。中低档的硬件环境同样可以开发一些有实际应用价值的项目。

2.2 输入输出设备

2.2.1 显示设备

根据用户的沉浸程度需求，VR 显示器目前可分为：桌面式、头盔式和其他类型几种。

(1) 桌面显示器。由于没有被试者头部位置跟踪器，视景变化由操纵杆、手套、鼠标等设备调节，是一种不完整的 VR，主要用来效果演示。被试者视野有动态的视景，也有显示器屏幕外的静态物体，沉浸感较差。

(2) 头盔显示器 HMD。将视景图象充满在被试者的视野内，与外界环境相对封闭，而且头部的位置跟踪器可以自动探测被试者的空间位置变化，自动调整显示变化后应看见的图象。

头盔显示器虽与外界相对封闭，但沉浸感的优劣还要取决于其各部分性能的好坏。

头盔显示器基本组成由图象源（显示）、光学系统和支持部件几部分构成。

- 根据图象源可分为 CRT 或 LCD，其中颜色分彩色和单色；

- 根据光学系统分单目单象、双目单象和双目双象，其中视场大小和分辨率也有很大不同。单目单象显示器只有一个光学通道和一个图象显示源，双目单象有分离的显示器和光学通道，但图象源只有一个；双目双象呈立体显

示，由两套图象源，双光学通道；

- 根据支撑部件类型分为外部机械支撑和头部支撑等方式。头部支撑要求更高：重量平衡，使得被试者戴在头部贴身、舒适。

头盔显示器的许多参数特性与被试者的视觉功能有密切的关系。如光学系统的作用是将图象源进行聚焦/发散并呈现在被试者眼前，人体眼球能够对不同视距的物体自动进行聚焦调节，从而产生深度知觉。若研究项目需要较宽的视场，但应不超过人眼的出瞳直径，以避免产生虚象；同时加大视场，尽量充满被试者的视野，使其看不到屏幕边框和框外的物体，提高封闭的程度。但显示器分辨率一定的情况下，放大的效果使得象素点更粗、相邻之间距离增大，沉浸感并不能够保证。如何开发高分辨率的小型图象源，或者开发填充象素点间的空隙的技术，已是当务之急。

目前市场头盔式显示器 HMD，中档有 VPL 公司的 V8 系列，分左右两屏双眼显示景物，分辨率为 640×480 ，价格适中，作为 VR 技术初步研究，能够满足基本要求；高档有 Fakespace Boom 和 Push 系列，分辨率高、视场大、延迟时间短，但价格偏贵。

(3) 其他类型显示器。除去桌面式和头盔式外，其他类型如全息图象的显示器正处于研发阶段。美国华盛顿大学人机技术实验室开发了一种显示方式——虚拟网膜成像技术，用低功率的激光直接射入眼睛，获得比目前各种显示方式亮度高得多的成像效果。它在轻便性、沉浸感等方面也有着明显超越桌面式和头盔显示器的潜在趋势，但目前离商品化还有一些距离。

2.2.2 位置跟踪器

位置跟踪器用来检测被试者的空间位置和运动方向，据此计算机调用相对应的视景图象至显示器，达到“景随人动”的作用。

位置跟踪器根据连接方式分为有源和无源，根据数据传输的类型分为机电式、电磁式、声波式和光学式等几种。

目前最常用跟踪器的是电磁式。其基本组成由发射器、接受器和计算模块几部分。原理是：发射器产生三个相互垂直磁场，接受器通过探测、计算该三个磁场向量的信息，最终可获得发射器的三维空间位置。

存在的最大问题亦是与真实性相关的延迟时间，机电有源跟踪器延迟最小，目前电磁式跟踪器通常有 $100 \sim 200\text{ms}$ 延迟，应向 $20 \sim 40\text{ms}$ 方向努力。

2.2.3 操纵设备

操纵设备是被试者与虚拟环境交互的主要手段,传统的二维设备如鼠标、游戏杆、触摸球已满足不了应用的需要。能够控制六自由度的三维设备如三维鼠标、力矩球、数据手套、数据衣是目前和今后使用的主流设备。稍显遗憾的是,这类设备的性能目前还未完全成熟,尤其模拟人体触觉的力感反馈设备,更有待进一步发展。

2.3 集成方法

将虚拟环境输入输出设备以及被试者有机连为一体,

是VR系统能够有效运行的重要环节,它包括硬件的协调问题,也包括系统联调以及人机界面的设计等技术内容[2]。

3 国内外在工效学领域的应用

在90年代初期,计算机技术的飞速发展带动虚拟现实由概念到广泛应用阶段,应用范围从民用的医学/科学可视化、虚拟建筑、航空航天设计到军用虚拟战场仿真,其中与工效学研究相关密切的应用项目见表1:

表1 国内外VR在工效学领域的典型研究及应用

领域	研究或应用内容
航天 (NASA)	虚拟环境中人的性能、可达性应用研究、人体工作负荷评定 在虚拟环境中使用虚拟菜单、虚拟操作工具 虚拟环境模拟失重人的空间认知能力和方位感研究 虚拟座舱布局、界面设计和虚拟光照模型研究 虚拟交会对接界面设计与模拟训练 HUBBLE 太空望远镜虚拟模型设计与维修应用 虚拟图形信息系统的人机界面研究
军事	新型军用舰船、飞机的舱室虚拟样机设计与人机界面评价
航空	波音、空中客车虚拟装配及客舱界面舒适性设计
汽车	美国通用公司和英国罗尔斯罗伊斯公司VR快速建模设计
建筑	卢浮宫照明工程 原杭州大学制作的虚拟故宫游历 北京太阳园房产虚拟样板间

4 我们已开展的实验研究

4.1 VR系统

载人空间站设计是载人航天技术重要阶段,因需要适应航天员较长期的在轨工作和生活,其内部的人机界面设计将是影响航天员工作效率的重要因素之一。针对设想中的空间站在内部空间布局、物体颜色选择/匹配、灯光效果、人体空间定向感知、物体转移和操作等问题,建立虚拟空间站实验系统,系统配置见表2。进行“人在回路中”仿真实验,对有目的确定一些关键参数有着明显的实际应用价值。

表2 已建立的虚拟现实实验系统配置

硬件平台	双CPU、双野猫图形加速卡的 INTERGRAPH微机工作站平台 微机+SUTHERLAND图形加速卡平台
软件环境	基本模块的Multigen & Vega专用建模和 视景驱动软件
显示器	V8头盔显示器 立体眼镜 大屏幕投影
外围设备	Cyberglove和Cybertouch数据手套 三维鼠标

4.2 开发历程

虚拟环境为改型的国际空间站内部视景,包括多组标准机柜、地板、主控台仪表、扶手、脚限制器、照明灯、通风口等设备。建模工具采用Multigen Creator基本模块,建立的图形数据库运行环境如图2所示。本系统的视景图形数据库采用OpenFlight数据格式,使用几何体、层次结构和属性来描述三维物体,系统中数据库层次结构如图3所示。

虚拟现实的特点之一是动态交互性较强,实验者可实时与虚拟空间站内部物体进行信息的交互,也允许进行物体属性的修改。实验中大致流程如图4所示。



图 2 图形数据库运行环境

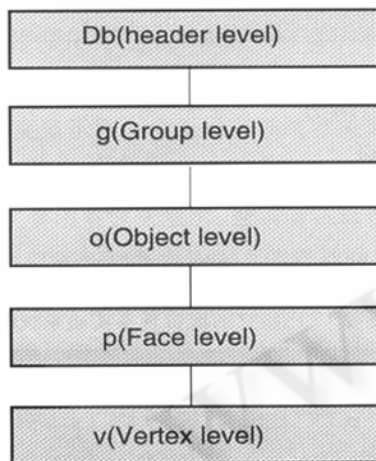


图 3 OpenFlight 数据库的层次结构

设计方案、生动形象地交流,提高工程设计的有效性,保证了产品系统人机界面的合理性和舒适性。■

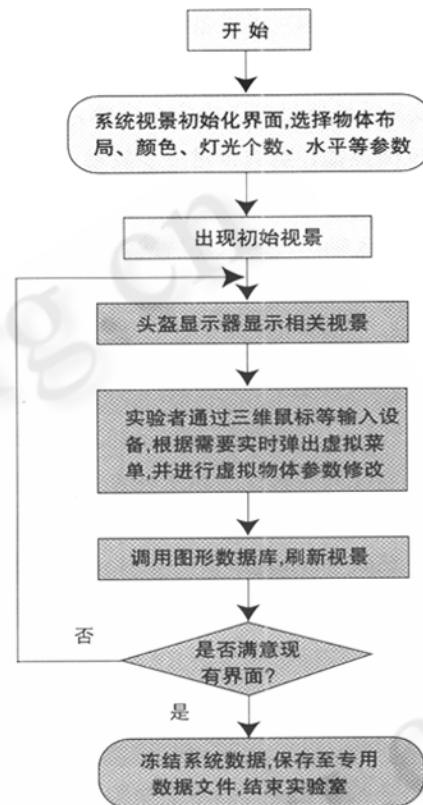


图 4 实验流程

参考文献

- 汪成为等,《灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用》清华大学出版社1996年。
- 陈善广,虚拟现实技术及其在航天医学工程领域的应用前景,《航天医学与医学工程》,1996,9(2):140-146。
- CHEN Shanguang et al. Research on VR of Ergonomic Experiment for Manned Spacecraft Crew Module Layout. 51st IAF proceedings,2000
- Linda Jacobson. Garage virtual reality.
- A. I. Menshov. SPACE ERGONOMICS. Nauka press, Leningrad, 1971.

4.3 VR项目应用效果

利用空间站虚拟现实实验系统特点是:航天工程是大系统设计,工程研制处于方案设计阶段,可视性差,专家评审交流不方便。应用VR系统后,可视性得到很大的改进,设计方、承制方和其他技术专家边观察边改进,及时优化

