

航天虚拟现实仿真技术的研究进展

Progress in the Research of Simulation Techniques in the Space Virtual Reality

周前祥

(航天医学工程研究所, 博士 北京 100094)

曲战胜

(航天医学工程研究所, 副研究员 北京 100094)

航天飞行是一项耗资巨大、变量参数很多、非常复杂的系统工程, 保证其安全、可靠是进行航天器设计时必须考虑的重要问题。因此, 利用仿真技术的经济、安全以及可重复性等特点, 进行飞行任务或操作的模拟, 来代替某些费时、费力、费钱的真实试验或者无法开展的真实试验, 最终找到提高航天员工作效率或航天器系统可靠性等的设计方法, 就成为确保航天器安全可靠的技术途径^[1,2]。

研究的意义

虚拟现实(Virtual Reality, 简称 VR)是一种可以创建和体验虚拟世界(Virtual World)的计算机系统。其中虚拟世界为全体虚拟环境(Virtual Environment)或给定仿真对象的全体, 它是由计算机产生的具有动态声、像功能的三维空间环境, 通过视、听、触觉等作用, 最终使用户产生身临其境的感觉^[3,4]。虚拟现实技术应用于航天仿真研究, 不但可使该领域的计算机仿真方法得到完善与发展, 而且也将大大提高设计与试验的逼真性、实效性和经济性, 具体表现在如下几个方面。

1. 人一机界面具有三维立体感, 人融于系统, 人机浑然一体 以座舱仪表布局为例, 原则上应把最重要且经常查看的仪表放在仪表板中心区域, 次要的仪表放在中心区域以外的地方。这样能减少航天员的眼动次数, 让注意力集中在重要的仪表上。但究竟哪块仪表放在哪个精确的位置, 以及相对距离是否合适, 只有通过实验确定。而利用 VR 作为工具可以设计出相应的具有立体感、逼真性高的排列组合方案, 逐个进行试验, 以使被试者仿佛置身于真实的载人航天器座舱仪表板面前, 达到客观的理想实验效果。

2. 继承了现有计算机仿真技术的优点, 具有高度的灵活性 因为它仅需通过修改软件中视景图

像有关参数的设置, 就可模拟现实世界中物理参数的改变。这样, 随着任务的变化, 已有的软件再经修改即可满足新任务的完成, 所以十分灵活、方便。

3. 突破环境限制 现有的航天仿真计算机系统体现不了空间失重环境, 而建立虚拟现实系统, 通过虚拟的景像和声响就可以使被试者仿佛处于太空飞行中实际的载人航天器座舱中, 因此而展开的相应试验研究就具有实时、实境意义。

4. 节省研究经费 用真实的航天器进行相应的试验研究有时是不可能的, 因为耗资巨大, 经费条件不允许。而采用虚拟现实技术, 由于其研制周期较短, 设计修改和改型仅通过软件修改即可实现, 并可重复使用, 设备损耗低, 因而可大大节省经费投入。

长时间、远距离和多乘员的载人空间飞行将是 21 世纪航天技术发展的必然趋势, 为了保证有良好的人(航天员)一机(载人航天器显示、控制系统)界面以提高航天员一载人航天器一空间环境这个大系统的可靠性和安全性, 开展基于虚拟现实技术的航天仿真技术的研究, 不但可以填补我国这一领域的空白, 而且将为我国中、长期载人航天器(如空间站和空间实验室)的空间飞行任务的实施创造有利条件。

研究现状

1965 年, 美国麻省理工学院的科学家 Ivan Sutherland 设计了一种头盔显示器(HMD), 通过传感器和计算机仿真环境的相互作用, 航天员可以感觉到自己在几何图形中的移动, 产生身临其境的感受; 由此诞生了一种新的仿真手段——虚拟现实技术^[5]。但这种头盔显示器的性能较差、价格昂贵, 很长时间内得不到应用。随着计算机图形学的发展, 80 年代中期, 美国 Ames 航天研究中心利用流行的

液晶显示电视和其它设备开始研究低成本的虚拟现实系统,极大地推动了虚拟现实技术软、硬件的研制和开发。到 90 年代,该项技术受到广泛关注并向实用迈进。例如美国 Marshall 空间飞行中心研制载人航天器 VR 座舱,指导座舱布局设计并训练航天员熟悉航天器的舱内布局、界面和位置关系,演练飞程序。目前,美国各大航天中心已广泛地应用 VR 技术开展相应领域的研究工作(如表 1 所示)。VR 技术传入我国后,除几所院校建立了一些初级的 VR 系统模型外,在航天仿真领域尚未展开此项技术的应用研究。

虚拟现实系统具有两大特点:可以从数据空间向外观察;被试者可以沉浸到数据空间中^(6,7)。它是通过对研究对象的模型进行计算机仿真,由计算结果去控制虚拟世界,并显示给被试者,最终实现它们之间的交互作用。

完整的虚拟现实航天仿真系统由三部分构成。

1. 虚拟环境产生器 它能产生三维世界的软、硬件环境,是 VR 系统的核心部件。它的主要功能是接收被试者相关的运动信息(如头部、眼、手等),分路/分时生成左、右眼视图,并融合成三维立体图像,同时进行三维声音合成和发出触觉、压力等反馈信号。

2. 输入输出设备 其目的是使被试者能够与虚拟环境通过视觉、听觉和触觉等方式实现信息的交互作用。主要包括头盔显示器、操纵杆和数据手套等,它们是被试者与虚拟环境建立联系的关键。

3. 数据接口 其作用是将虚拟环境产生器、输入输出设备以及被试者等有机地连接成一体,这不仅包括硬件协配问题,也包括软、硬件联调以及人机界面等技术内容。

整个系统的控制流程图如图 1 所示。

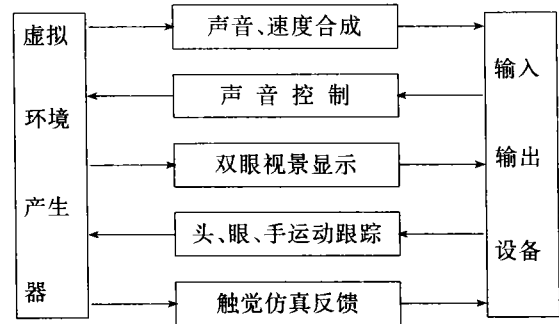


图 1 航天仿真虚拟系统的控制流程

发展趋势

纵观主要航天大国的研究内容,归纳起来,虚拟现实技术在航天仿真研究中的应用的发展趋势是:

1. 航天员(乘员)训练器 即利用虚拟训练系统,对航天员进行失重心理训练,使其建立失重环境下的空间方位感。其次,通过构造航天器虚拟座舱模型,训练航天员熟悉舱内布局、界面和位置关系,演练飞程序和操作技能等。还有,当航天器某些关键设备在轨运行期间发生故障时,为使航天员能正确地进行在轨修理,可以通过虚拟现实技术,在地面或空间站对其进行修理培训。例如 1993 年,美国约翰逊航天中心启用了一套虚拟现实系统来训练航天员熟悉太空环境,为修复“哈勃”望远镜作准备。航天员通过操作虚拟设备,大大提高了操作水平。

2. 航天工效学 作为一种新型的人机界面,利用 VR 系统可以更好地研究人与航天器之间的接口关系与功能分配,使舱内结构和布局更适合人的特性。此外,还可进行操作飞程序和人机功能分配等合理性评价。

3. 交会对接人工控制虚拟仿真技术 航天器的空间交会对接是发展载人航天事业的一项关键技术。其控制方式分为自动和人工控制两种,根据国外经验,在交会对接的最终逼近与对接过程中人工控制发挥非常重要的作用。目前现有的人工控制交会对接仿真系统是由计算机系统(包括数学模型)、运动模拟器、座舱(包括控制操作台)、视景系统、操作负载系统等五部分组成^[8],其设备复杂、投资巨大。若采用虚拟现实技术,整个系统由计算机系统、头盔显示器和数据手套三部分组成。将交会对接动力学模型存入计算机系统,通过计算机仿真,实时地解出这两个航天器间的相对距离和姿态角参量,并通过计算机生成图像,在头盔显示器里实时地显示两个航天器虚拟环境,此时航天员就像

表 1 NASA 各中心当前主要 VR 研究项目	
单位名称	研究项目
艾姆斯(Ames)研究中心	虚拟/远程目标捕获作业中的头部随动滚转补偿
	虚拟环境中人的性能
	虚拟环境中舱外活动自救
	遥控机器人计划与操作界面
哥达德(Goddard)空间飞行中心	VR 在地球和空间科学中的应用
约翰逊(Johnson)航天中心	利用人工合成的工作环境进行工作负荷的评定
	舱外活动(EVA)卫星捕获训练
	空间站 Cupola 训练
	交会对接人控虚拟训练器
马歇尔(Marshall)空间飞行中心	宏观工效学与可伸缩的用户人体测量学
	微观工效学虚拟及 Fomecor 模型微重力运动与工效学

真正处在飞行空间进行交会对接操作一样。这样建立的系统设备简单、投资少。另外,若需考虑空间环境因素(如失重、加速度等),可以把虚拟交会对接仿真器安置在离心机上或模拟失重的水池里,直接在航天员身上产生失重或加速度效应。这种具有空间环境效应的虚拟仿真器是现有仿真系统所没有的。因为采用通常技术的仿真器设备多,重量和体积大,一般不可能实现空间环境效应。

4. 航天环境控制与生命保障工程设计 在航天服和环境生保系统的设计与研制中,可利用VR技术进行原理设计、逻辑验证及模型的仿真。设计者通过与设计的虚拟交互,不仅可及时观察到所设计部件的整体结构与外形,而且还能及时改进设计中的原理或功能性缺陷,从而提高设计与研制效率。

5. 智能化的虚拟系统 利用人工智能技术使计算机通过编程模仿人的思维过程,将与研究对象相关的专家知识一同纳入知识库,并根据这些知识进行推理,因而能解释用户的请求,确定必要的输入数据,修正或选择一个合适的模型进行实验。这样就具有更强的仿真能力。

6. 交互方式的进一步发展——创建虚拟现实工具包和模拟管理器 这将使被试者可以打开舱门、用手操纵开关等;而且还带有声音识别合成功能,能发出相应动作的声音,使被试者更加沉浸于虚拟世界中,提高仿真试验效果。

关键技术

根据上述应用前景,我们认为,建立一个完善实用的航天仿真虚拟现实系统,需要在以下四个方面取得突破:

1. 系统硬件 如前所述,VR技术的一个重要特点是通过仿真为被试者提供一个虚构的但能反映研究对象变化的环境,这需要大量的数据处理。一般来说,人脑检测延迟的阈值约10ms,所以VR系统要求的延迟应低于10ms^[7]。因为延迟越长,系统愈不逼真,过长甚至产生负效应(如运动病)。另外,使用多边形越多,视景效果越真实,但是增加多边形,会使其延迟时间拉长。这样,视景生成对计算机硬件的速度要求更高。从目前技术来看,要实现低于10ms的延时,处理器速度需达90Mips(每秒百万条指令)。达到这一性能甚至更高一些是可能的,但成本昂贵。此外,为了得到高质量的图像,头盔显示器必须有50~100万个像素,因此,应着力研究分辨率高、体积小的显示器,以满足系统需要。

2. 环境生成工具 构造虚拟现实环境要通过环境生成工具来实现。计算机图像处理中智能性图形特征分析与推理以及图形模块的相互作用和处

理,是虚拟现实技术的一个首要环节。目前这种环境生成工具专用性很强,尚不具有通用性。

3. 三维图像处理技术 虚拟系统的视景环境是由计算机通过三维图像处理并用立体图像方式表现出来的;同时根据研究要求和约束条件,完成实验所用的三维显示界面,是根据数学和视觉原理用小多边形“构造”出来的。据估计,建立载人航天器和它的对接机构形状、再入状态与着陆场等逼真的虚拟环境,需要的图像生成速度为8000万个多边形/秒,这就要求有专门的数学模型和仿真软件,而这正是三维图像处理的主要内容。

4. 系统性能评价 建立的航天仿真VR系统是否实用,一个重要的评价指标是逼真度(即与所研究对象的吻合程度)。现有的评价方法包括两方面:一是对系统进行测试,将结果与所研究对象的实际参数或数据进行比较;二是对仿真模型进行主观定性评价。对于VR系统而言,目前尚无有效手段客观评价其逼真度,多是依据主观定性评价。因此,发展客观检测方法进行评价也是急待解决的重要问题。

几点看法

1. 虚拟现实技术与现有仿真的区别在于,被试者不再是坐在现实世界中通过人机界面去观察分析所研究对象的参数,而是沉浸到由计算机创造的一种虚拟世界之中,如同在真实世界中一样与周围的虚拟环境事物进行交互作用。因此,针对航天仿真技术的特点,建立虚拟系统,不但设备相对简单、投资少,而且可以真实地模拟空间效应,进而可作训练器,所以它是今后研究中值得推广应用的技术。

2. 从整体水平看,国内在VR研究方面刚刚起步,与国外相比,存在很大差距。为此,我们应充分跟踪NASA和ESA在载人航天仿真研究中VR的动态,在可行的基础上建立一套虚拟现实仿真系统。另外,在设计视景软件时,应与国际仿真软件的发展趋势接轨。

3. VR系统毕竟是一种虚拟化的事物,不同于真实世界。因此,如何平衡被试者的心理负荷,避免操作失误以及焦虑、紧张等状态,让其将VR技术真正作为一项实用的研究工具,提高工作效率,摆脱不必要的心理负担,也是航天仿真虚拟现实技术应用中必不可少的课题。

4. 建立航天仿真用虚拟现实系统,主要的硬件如图像生成计算机和头盔显示器等,由于技术发展速度很快,估计用不了几年时间,它们的性能就可以满足研究要求,因此我们应将研究重点转向人与虚拟世界之间的高速交互作用等问题。

参考文献

汲取咸海教训,避免重蹈覆辙——对渤海水西调工程的疑虑和质询

Doubts of the West Trasfer Project of the Waters of the Bohai Sea

徐晓明

(南京理工大学研究生部 南京 210008)

贵刊 1997 年第 3 期发表霍有光先生《关于西调渤海水改造我国北方沙漠生态环境的设想》(以下简称霍文),虽然其想法颇具创意,但对各方面后果的考虑似乎有欠周密。本人拜读之后便立即联想到中亚地区的咸海危机,于是禁不住十分担忧:如果真把霍先生的这一设想付诸实施,不仅在经济上代价高昂、得不偿失,而且很可能在我国北方制造第二个咸海,从而给中华民族带来一场前所未有的大灾难,其后果将不堪设想。

说到中亚的咸海危机,主要是因为前苏联在中亚地区大力发展灌溉农业,为此而超量使用阿姆河和锡尔河河水,致使两河注入咸海的水量锐减,由于水源补给远远低于年蒸发量,造成咸海的水量平衡出现巨大亏缺,因此自 60 年代以来,咸海的湖面持续大幅度萎缩,水位显著降低,水质也日趋恶化,由此引发了一连串严重的生态环境问题,不仅使当地的工农业发展受阻,在经济上造成极大损失,而且居民的日常生活乃至生命健康都受到严重威胁,成为当今世界上后果最为惨重、最令人触目惊心的一大生态灾难,人们将其比喻为正在缓慢爆炸的切尔诺贝利核电站,而实际上它给人类社会带来的危害比切尔诺贝利核泄露事故还要大得多。

如果按照霍先生的设想,把大量渤海水调往我国北方的沙漠地区,且不说这样做在技术上的可行性(注:这方面估计问题不大)和在经济上所花的代

价(注:要把渤海水从海平面提升到大约海拔 1 200 米的高度,仅能源消耗一项,其数额之大就可想而知),即便工程进展顺利,如期实现了预定的目标,在辽阔无垠的大沙漠中出现了几个巨大的人造海,但是在此之后,我们便立即面临着进退两难的抉择:或者是继续年复一年、源源不断地向沙漠中大量调入渤海水,以弥补人造海在沙漠干燥气候下的巨大蒸发量,这样才能确保人造海的面积不致缩小;或者是停止调水而任凭人造海大量蒸发。这样一来,人造海很快就会重演咸海的悲剧——海面不断萎缩,水位逐渐下降,水的含盐量则逐渐上升,水质日趋恶化。尤其可怕的是,当海水逐渐干涸之后,在出露的海底已聚集了大量的盐分,成为一个盐化的沙漠,这些盐分与沙、尘一同被风卷起,进入大气,从而构成了危害极大的“盐尘暴”。这种高盐度的沙尘将随风扩散,到处飘落,在大范围的辽阔区域中严重污染空气、水源和土壤。面对这种铺天盖地、来势凶猛的盐尘暴,就连我们多年苦心营造的三北防护林也难以抵挡。因此,包括首都北京在内的一大批城市和无数的村庄、农田都将成为直接的受害者。由于我国北方地区的降水较少,自然洗涤作用差,不断飘落的盐尘将对各种农作物的生长造成极大的危害,使农业产量下降、农产品的品质降低。目前,我国的粮食生产格局正在发生历史性的转变,由过去的南粮北调变为北粮南调,而一旦出

[1] Floyd M., Simulation techniques, New York, John Wiley & Sons Inc., 1996:9~19

[2] 吕韶义、刘复岩, 智能化仿真系统及其案例研究, 系统工程与电子技术, 1997, 19(1):52~58

[3] 汪为成、高文、王行仁编著, 虚拟现实技术理论、实现及应用, 北京:清华大学出版社, 1996:1~5

[4] Kalawsky R. The science of virtual reality and virtual environments, London: Addison — Wesley publishing company, 1993:2~15

[5] Adam J. Virtual reality is for real IEEE spectrum,

IEEE Press, 1993(10):22~29

[6] 林来兴, 虚拟现实技术及其在空间仿真中的应用, 中国航天, 1995(6):13~16

[7] 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

[8] 林来兴, 虚拟现实技术在空间交会对接仿真中的应用, 863 空间站交会对接 95' 年度总结报告, 航天总公司 502 研究所, 1996. 3:97~101

(责任编辑 刘先曙)