

载人航天器人一机系统虚拟仿真技术关键问题的探讨

A Study on Key Technology of Man-Machine System Simulation for Manned Spacecraft

周前祥

(上海交通大学信息学院, 博士后 上海 200030)

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 本质上就是利用计算机产生一个让人如同身临其境的以自然的视、听、触、嗅等功能感觉到的三维空间环境, 从而可以用他具有的能力和办法, 对这个生成的“客观世界”进行观察、分析、操作和控制。^[1,2]与通常意义上的多媒体相比, 该技术将人、计算机间的信息交互通道由二维 (声音和图像) 扩大到多维 (声音、图像和人的其它功能感觉), 并且显示的图像由平面变为立体, 因此, 可以说它是多媒体技术深层次进步的结果。

如上所述, 虚拟现实技术提供了更加高级的集成性和交互性, 给人以愈发逼真的场景体验, 它在航空航天、医药、汽车、建筑等诸多领域获得了广泛的应用^[3,4]。美、欧、日本等国家和地区的政府机构和大型的商业公司均已投入大量的人力和物力进行相应的开发研究, 有力地推动了此技术向前发展。特别是在载人航天中它被广泛地应用于设计方案的模型验证、航天虚拟训练等方面的人机关系仿真。比较典型的是, 早在 1993 年, 美国 NASA 哥达德空间飞行中心应用虚拟技术成功地进行 Hubble 太空望远镜的修复操作训练。但需指出的是, 人参与虚拟系统中并将其看作为系统的一个仿真要素时, 必须进行人在虚拟环境和真实世界中的认知特性的对比研究, 只有在获取研究数据的可类比性之后, 据此开展的载人航天器人一机系统虚拟仿真研究结果才具有实用价值。

一、国内外发展现状

虚拟现实技术的初步构想由美国科学家 Ivan Sutherland 于 1965 年通过“无限的显示器” (The Ultimate Display) 的方式提出, 发展到今天, 无论软、硬件以及应用方面均取得了长足的进展, 比如虚拟系统可划分为桌面式、沉浸式和网络分布式 3 个层次。在人机系统虚拟仿真的研究领域, 为了创造一个真实的虚拟环境, 针对其构成要素及研究对象, 目前

国内外主要开展了以下相关工作^[5,6,7,8]。

1. 三维虚拟声音的形成机制 三维虚拟声音与人们熟悉的立体声音有所不同。在真实世界中听到的立体声音, 虽然有左、右声道之分, 但就整体效果而言, 立体声音仅来自听者前面的某个平面; 而研究得出的结论认为, 三维的虚拟声音是来自听者双耳的一个球形中的任一地方, 即声音出现在头的上方、后方或前方。NASA 研究人员的研究进一步从感知上说明了这一切: 被试者戴上立体耳机, 若采用通用的立体声做声源信息, 他认为声音在头内回响而不是来自外界; 但是, 如果设法改变声源的混响时间差和压力差, 被试者就会明显地感觉到声源的位置在变化, 并开始有了沉浸感。

2. 设计方案的虚拟模型验证 1989 年, 美国 NASA 马歇尔空间飞行中心的计算机应用与虚拟环境实验室 Hale 教授等人启动虚拟现实技术的应用计划。1993 年, 该课题组利用工作站进行空间实验室载荷控制间 (The Spacelab Payload Control Room) 布局工效设计的实验研究, 他们提出 2×2 个设计方案, 选用 2 个被试、真实或虚拟的载荷控制间作为输入变量。进行的实验内容包括: 观察者判断载荷控制间内部件远近距离; 操作者的观察范围, 即实验结束之后, 设计主观问卷表让被试者对自己在真实以及虚拟环境中的感受进行描述。得出的结论为: (1) 在相同视场角的情况下, 无论是真实还是虚拟的环境, 当部件距观察者的距离以 2 英寸等级变化时, 判断较为容易, 两者无明显区别, 但若视场角不同时则出现差异; (2) 被试者在虚拟环境中对距离判断的反应时间要相对长一点, 但认为虚拟世界更加令人满意; (3) 虚拟环境建模时, 要尽可能地增加给人的感知提示的信息源, 例如增强虚拟场景的纹理效果, 以降低人的反应时间和提高判断的准确性。

3. 人在真实世界及虚拟环境中认知特性的对比 韩国标准化与科学研究所的 Jungsun Yoon 等人研究了被试者在虚拟和真实的房间中对空间方位感知效果的对比, 内容包括真实和虚拟房间的主观

感受、房间的尺寸及其比率、物品的出现顺序对人估计结果的影响等。实验结束后,同样进行了主观问卷调查。他们认为,被试者在真实与虚拟环境中的感知结果没有明显差别,在两种条件下估计房间的尺寸时,与实际尺寸相比,除房间高度的大小有差异外,长和宽的估计值区别不大,这说明虚拟环境可以作为房间结构设计的手段。

4. 国内发展情况 1990年以来虚拟技术传入我国以后,除了一些高校和研究所在硬件方面(如数据手套)开展研究外,主要还是开展基于具体任务背景的应用研究,典型的如原杭州大学开发出虚拟游故宫的系统。在载人航天领域,航天医学工程研究所是国内最早进行虚拟现实在工效学中的应用研究的单位,研制了载人航天器座舱布局工效学虚拟现实系统(这是人机系统虚拟仿真的内容之一),进行过航天虚拟舱及工效学应用的试验技术研究,取得初步成果。

总之,要想将虚拟现实技术作为一个手段,研究涉及人的因素的人机关系仿真问题,必须掌握人在虚拟环境中的认知特性,只有这样才能保证所获取实验数据的可类比性,实现真正意义上的应用。前面所说的马歇尔中心的计算机应用与虚拟环境实验室在对虚拟环境中人的认知特性掌握之后,目前正在开展虚拟人体的应用研究,用于载人航天器的工效设计方案的评价。基于这种现状,开展虚拟环境中人的认知规律研究,是进行载人航天器人机系统虚拟仿真首先要解决的技术问题之一。

二、需要解决的关键技术

为了使参与者真正能够“沉浸”于一个由计算机生成的载人航天器舱内环境中,必须使生成的虚拟舱的视觉场景足够逼真和自然。一个好的交互式虚拟人机仿真系统必须给人的感官提供与现实环境相似的刺激。我们认为,为达到这一点,需要在以下6个方面取得突破。

1. 动态环境建模技术 由于载人航天器系统的复杂性,动态环境建模技术是虚拟现实在载人航天器人机系统仿真应用研究中的核心内容。其目的是获取实际环境系统的三维数据,并根据需要,利用所得的数据建立相应的虚拟环境模型。三维数据的获取可以采用CAD技术(有规则的环境),而更多的情况下则需采用非接触式的视觉建模技术,二者的有机结合可以有效地提高数据获取的效率。

2. 人机交互通道 Hirota and Hirose(1995)、Douville(1996)及Richard(1996)等人通过虚拟现实技术的应用研究后认为:只有被试者与虚拟系统建立多通道交互方式时,才会进行可靠的人机系统仿真虚拟试验^[3,9]。目前,产生一个完备的触觉和力的

反馈在技术上并不现实,因而,必须研究在进行虚拟现实实验时的信息需求以及可靠实验系统的最低标准。

3. 虚拟视景生成技术 图形的生成及显示设备必须满足一定的要求,特别是图形的刷新需保证视景流畅的改变,不能有延迟现象。同时,构造虚拟场景要通过环境生成工具来实现。视景中的图像是计算机根据环境需要、利用给定条件与模型、在对图像数据和图形数据计算后所生成的^[4,10,11]。因此,计算机图像处理中图形特征分析与推理以及图形模块相互作用和处理,是人机系统虚拟仿真的一个首要环节。目前,已有的环境生成工具专用性很强,但不具有通用性。

4. 头盔显示器的舒适性设计 尽管在过去的几年中,头盔设计已取得了明显的进展,但仍然存在舒适性较差的问题。另外,还需解决头盔的视场角和分辨率的适配性关系。对实验系统中的被试者而言,视场角越大越好,因为这有助于本人的操作性和沉浸感,可是大的视场角会增加头盔的重量和体积,甚至影响图像的分辨率。其次,即使当今市场上较为先进的V8头盔,操作者戴上之后,总是觉得与所看见的立体图像有一定的距离,从而降低了对虚拟环境的沉浸感。

5. 位置感知 位置即为被试者对虚拟舱中的位置感觉,这是现实环境与虚拟环境的最主要区别。目前影响位置感知的因素很多,例如视场角、传感器的带宽、交互方式、被试者本人的特点以及实验过程中的任务等。因此,有必要对它们分别研究。另外,在研究中我们发现,若需让操作者沉浸其中,必须在场景中按真实世界的规律反映出其身体相关部的图像,如抓握物体时看见自己的手,而建立人体相关器官的模型也是当前研究的难点。

6. 交会对接 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,它是人机系统仿真的重要内容。其控制方式分为自动和人工控制两种。根据国外经验,人工控制在交会对接的最终逼近与对接过程中发挥非常重要的作用。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5部分组成,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3部分组成。即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,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,此时航天员就像真正处在飞行空间进行交会对接操作一样。因而,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,一般是不可能实现空间环境效应的。

四、未来的发展方向

VR 技术实质上是构建一种与人可自然交互的“世界”,允许参与者实时地探索或移动其中的对象,沉浸式虚拟现实是载人航天器人机系统虚拟仿真的最理想目标。实现的主要方式即是让他戴上特制的头盔显示器、数据手套以及身体部位跟踪器,用听、触和视觉在虚拟场景中体验。纵观虚拟技术的发展历程,尽管在人机系统仿真中加入了人的因素,但未来研究仍将遵循“低成本、高性能”这一主线,从软件、硬件上分别展开,主要有以下内容。

1. 高性能沉浸系统设备的研制 从系统构成角度来说,VR 系统用于载人航天器虚拟人机系统仿真时必须的硬件包括显示装置、图形生成机制、人的运动跟踪系统等。此外,虚拟模型的构建工具也是未来的研究重点。

2. 实时三维图形生成和显示技术 三维图形的生成技术已较成熟,而关键是如何“实时生成”。为了达到实时的目的,目前已提出了不少方法,例如减少分段数,删除和隐藏面、纹理贴图以及使用关联复制等,最终至少要保证图形的刷新频率不低于 15 帧/秒,最好高于 25 帧/秒。在不降低图形的质量和复杂程度的前提下,如何提高刷新频率将是今后重要的研究内容。此外,VR 还依赖于立体显示和传感器技术的发展^[12]。现有的虚拟设备还不能满足系统的需要,例如 V6 头盔显示器的缺点有过重(1~2Kg)、分辨率低(640×480)、刷新频率慢(60Hz)、跟踪精度低、视场不够宽、眼睛容易疲劳等。同样地,数据手套、数据衣等都有延迟长、分辨率低、使用不便等缺点,因此有必要开发新的三维图形生成和显示技术。

3. 虚拟人体模型的应用研究 1993 年以来,美国 NASA 马歇尔中心 Hale 教授等人开始引入虚拟人体或称数字航天员的概念,主要用于设计方案中涉及可达性、视场范围、人的活动空间大小诸方面人机关系的虚拟仿真评价。但由于人的因素的复杂性,至今还没有一个完整的虚拟人体应用软件。但可以借鉴的是美国宾夕法尼亚大学 Norman Balder 负责开发的 JACK 软件,用于汽车以及载人航天器人机关系的虚拟仿真。此外,他们目前正在研究人体应力建模评价技术,以进行工作台体的设计方案的虚拟评价。

4. 智能化的语音虚拟现实建模 VR 建模是

一个比较繁复的过程,它的建立需要开发人员花费大量的时间和精力。为了解决这个问题,可以考虑将 VR 技术与智能技术、语音识别技术结合起来。任何模型都包含有模型的概念、模型的描述、模型的功能约束条件、模型的空间和模型的多种形态等基本特征说明^[13]。这些信息若用计算机语言来编写有时会显得不很方便甚至无法表达清楚,而且工作量也非常大;而人类的语言可以容易地描述任何简单或复杂的事物,因此,应当利用语音识别技术将人类对模型的属性、方法和一般特点的描述转化成建模所需的数据,然后利用计算机的图形处理技术和人工智能技术进行设计、导航和评价,即将基本模型用对象表示出来,并符合逻辑地将各种基本模型静态或动态地连接起来,最后形成系统模型,在各种模型形成后再进行评价并给出结果,最后由人直接通过语言来进行编辑和确认。

五、需要重点关注的研究方向

VR 技术正在向实用方向迈进,它向人们展示了广阔的应用前景,被誉为“21 世纪的新科技”;但 VR 技术又是一项投资大、难度高的前沿科技,因此应从我国的实际情况出发,借鉴国外的成功方法,搞好虚拟现实技术的研究及开发应用,为此,根据目前的研究方向,提出下述观点以供讨论。

1. 为了得到一个更加完美的虚拟结果,从人机工程的角度来说,需要对人与虚拟环境信息的交互通道、头盔显示器舒适性设计、虚拟环境视场角的设置、输入输出设备、位置感知以及系统性能评价等方面存在的技术问题开展研究。特别是,选择不同的视场角参数对生成的 VR 环境能否真实地模拟实际模型有很大的影响,因此研究视场角与虚拟环境失真度的相互关系、找出最佳参数,也是进行虚拟现实应用时应考虑的重要问题。

2. 由于模拟自然交互方式设备(数据手套、数据衣)的性能限制,离真正沉浸式的虚拟现实系统还有一段距离,而桌面式 VR 系统又满足不了某些需要,所以,建立投影式 VR 系统正受到人们广泛的关注。目前,已出现了 3 面、6 面投影墙的虚拟系统,参与者戴上红外接收式立体眼镜对其中的对象进行操纵,有很强的沉浸感。如何设计投影墙,亦须引起我们的重视。

3. 应加强人在虚拟环境中的认知特性研究。人在虚拟环境中感觉的真实性是进行载人航天器人机系统虚拟仿真的立足点,它与一般的视景仿真不一样,只有将此问题解决好之后,才能进行深层次的应用。为此,必须开展虚拟环境中人的认知实验,掌握好基础数据之后,建立虚拟人体(数字航天员)的数据库,这应成为今后的重要方向。

人工生命: 计算机与生物学相遇的前沿

Artificial Life: Forward Position of Combination of Computer and Biology

李建会

(北京师范大学哲学系, 博士、副教授 北京 100875)

创造生命可以说是人类自古以来的梦想。古代的神话几乎无例外地都把生命看作是由神从无生命的物质中创造出来的。如果说神话最早反映了生命可以从无生命物质创造出来的人类理想的话, 那么, 从近代开始, 人们则试图实际地用机械的方式创造生命。1735 年, 一位名叫雅克·沃肯森的人曾经制造了一个人造鸭子, 这鸭子不仅看上去像鸭子, 而且还能像鸭子一样在水面上拍打翅膀、叫、吃食、饮水、消化, 甚至能排泄出一粒粒人造食物。它是一件做工极其复杂的杰作, 仅一只翅膀就由 400 个机械零件组装而成。虽然如此, 但是在生命的本质还没有得到充分了解以及人们的制造技术还很落后的情况下, 人们能创造的, 充其量只是类似迪斯尼公园里的一些古怪的生命模拟物而已。然而, 从 20 世纪中叶开始, 生命科学和计算机科学的发展, 为我们提供了全新的理论和工具。人工生命不再是几个有强烈好奇心的人的业余爱好, 而是一些严肃的科学家基于计算机和生命的原理正试图实

现的目标了。

一、人工生命思想的萌芽和主要思想

现代人工生命思想的萌芽可以追溯到 20 世纪中叶计算机专家阿兰·图灵和约翰·冯诺伊曼的工作。图灵证明生物的胚胎发育可以用计算的方法加以研究。冯诺伊曼则试图用计算的方法描述生物自我繁殖的逻辑形式。

到了 70 年代和 80 年代, 随着电脑速度的大幅度提高以及个人电脑的普及, 在康韦、沃弗拉姆等人有关“生命游戏”研究的基础上, 克里斯·兰顿发现, 处于“混沌的边缘”的细胞自动机既有足够的稳定性存储信息, 又有足够的流动性来传递信息。当他把这种规律与生命和智能联系起来时, 他认识到, 生命或者智能很可能就起源于“混沌的边缘”。于是兰顿的脑海中浮现出一个崭新的思想: 如果我们在计算机中建立起产生“混沌边缘”的一定规则,

参考文献

- [1] John R. Wilson, Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities[J], 1997, 40(10): 1057~ 1077
- [2] Valerie N. & Cathleens S., Spaceflight[M], smithsonian Guide, macmillian U. S. A, 1996: 25~ 35
- [3] Vega Programmer's Guide for Windows NT and Windows 2000[M], Version 3. 5, MultiGen- Paradigm Inc., 2000. 6: 93~ 98
- [4] Anthony R., Human- centered computing for NASA Aeronautics and space program, [C] Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 congress: F244~ F247
- [5] Liale K., Virtual reality and telepresence applications in space robotics[J], virtual reality systems, 1993, 11(2): 50~ 56
- [6] Mark D., Ergonomic considerations in launch design and processing for operational efficiency[C], Proceeding of 31st international space congress, Florida, U. S. A, 1994. 4: 735~ 741
- [7] Gill S. and Ruddle R., Using virtual humans to solve real ergonomic design problems[C], proceeding of the 1998 international conference on simulation, VENUE, UK, 1998: 223~ 239
- [8] Dallenbach K. M., The human role in manned space[J], Acta Astronautica, 1995, 36(4), 217~ 229
- [9] Adam R. Brody, Space operations and human factors[J], Aerospace America, 1993(10), 19~ 21
- [10] Maury. Evaluation of artificial network modelling to predict torso muscle activity[J], Ergonomics, 1996, 36(12), 1430~ 1444
- [11] R. peecy, J. Seastrom, New trends in system safety and risk management in international manned space programs[C], 47th International astronautical congress, October 7-11, 1996, Beijing, China, 1~ 6
- [12] Jayaram S. and Connacjer I, Virtual Assembly Using Virtual Reality Techniques[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8): 558~ 565
- [13] Stephen M, Jarrett C. virtual Reality at NASA/ Goddard Space Flight Center[J]. Computer Graphics, November 1996: 438~ 446

(责任编辑 王宏章)