

VR 技术及其在水电工程中的应用

唐文惠

(三峡大学,湖北宜昌 443002)

摘要 在综述虚拟现实(VR)技术的特点与当前国内外应用研究现状的基础上,根据已取得的研究成果,探讨 VR 技术在水电与土木工程中的应用领域与应用前景,同时指出了水电工程应用 VR 技术的发展方向及其所带来的深远影响。

关键词 虚拟现实(VR) 动态模拟 仿真 可视化技术 虚拟空间

中图分类号 TP391.9

文献标识码 A

文章编号 1006-764X(2001)04-0017-04

虚拟现实(virtual reality,简称 VR),有时也称为灵境,是一种可以创建和体验虚拟世界(virtual world)的计算机系统^[1~3]。它是由美国学者 Ivan Sutherland 于 1965 年首先提出的。Ivan Sutherland 认为:计算机是观察现实世界的一个“窗口”,通过这个“窗口”可以看见虚拟的世界;并且这个世界观察时虚拟,运动时真实,听时真实与感觉时真实。在经历了 20 余年的计算机图形、图像、三维跟踪等技术的发展后,在工业、军事、航天科技的发展推动下,Ivan Sutherland 的大胆设想终于在 20 世纪 80 年代成为可能,并引起人们的广泛关注^[4]。1995 年,一种基于 SGI 公司 Open Inventor 文件格式的 VRML 语言推出,不仅实现了三维几何建模与物理建模,而且支持用户与场景的交互和超级链接,与此同时还加快了三维图形在网络上的传输速度。

传统的计算机软件应用技术是建立在计算机图形(CAD 技术)、图像技术的基础上,依靠人工建模进行仿真研究,其不仅工作量大,而且在仿真的实时性、数据的分析与传递、信息的表达等方面存在着较大的缺陷。如,仅以视觉与听觉为主要感知,将用户仅作为“旁观者”。VR 技术是由多种媒体构成的三维信息空间,它以交互性与临场感(immersion)为基本特征,有效地克服了传统计算机软件应用技术的缺陷,使用户真正体验到身临其境的逼真感受,在感知上不仅使用户感受到视觉与听觉体验,而且使用户感受到触觉与力觉体验,显示出了极有价值的应用与研究前景。

虚拟世界是全体虚拟环境(virtual environment)或给定仿真对象的全体。虚拟环境是由计算机生成,

通过视、听、触觉等作用于用户,使之产生身临其境感觉的交互式视景仿真,因而一个身临其境的虚拟环境系统是由包括计算机图形学、图像处理与模式识别、智能接口技术、人工智能技术、多传感器技术、语音处理与音像技术、网络技术、并行处理技术和高性能计算机系统等不同功能、不同层次的具有相当规模的子系统所构成的大型综合集成环境^[4],所以 VR 技术是综合性极强的高新信息技术,在军事、医学、设计、艺术、娱乐等很多领域都得到了广泛的应用。正是由于对身临其境的真实感和对超越现实的虚拟性的追求,以及建立个人能够沉浸其中、超越其上、进出自如、交互作用的多维信息系统^[5],才得以推动了 VR 技术在水电工程中的发展与应用。VR 技术的应用研究给面向 21 世纪的水电建设注入了新的活力,它必将成为交互仿真的发展方向。目前,对 VR 技术的应用研究大都用于图形生成上,由于图像的逼真程度远高于图形,如何直接由图像生成场景是目前研究的热点。因此,VR 技术的发展也推动了工程摄影测量技术的发展。

1 VR 技术现状

可以说,VR 技术几乎支持人类的所有活动,应用于任何领域。但是,软硬件环境与资金的短缺在一定程度上限制了 VR 技术的发展以及在实际工程中的应用。目前,它在航空航天领域的应用发展最快。波音 777 运输机的全无纸化设计、哈勃太空望远镜修复前的宇航员训练与飞行仿真的成功都证明了 VR 技术的强大潜力。VR 技术的有效利用对提高生产效率、降低生产成本将起到重大作用。为此,

NASA、APRA、浙江大学、清华大学、中国科学院等科研机构 and 高等学校进行了从遥感技术、科学数据可视化、数据分析、卫星地面观测、仿真网络到实时显示技术的应用研究,各种标准(如 DIS 等)的制定也相继出台。迄今为止,法国的 CATIA 系统是公认最为先进的软件包。它推出不久就被 BOEING 公司采用,并利用其完成了产品的三维数字化建模、可视化展示、机械零件设计、生产工艺设计、包装设计等工作,并能进行装配预检验、干涉检查、数控模拟以及分析物体的重量、应力状态等。由于 VR 技术的硬件设备十分昂贵,因此,目前的研究,特别是国内的研究工作大多侧重于算法研究方面。

Ribarsky^[4]等利用面向对象技术与可视化技术,应用变形来控制与显示研究对象的基本要素,设计了基于 Glyphmaker 的 IV 系统。这种建模思想与建模技术克服了传统的三维 CAD 建模在材质、设备运行、导航、几何约束及信息传递等方面的缺陷,不但具有对研究对象动态模拟的功能,而且还具有仿真功能,对研究对象的运动轨迹与速度的物理约束可以预先设定,对在运动过程中的研究对象还可以进行实时查看或修改,生成虚拟书(virtual book)等。Pimentel 等^[5]提出了基于 PC 机 DOS 环境下的网络系统的构成。Barrus 等^[6]研究了多用户 VR 系统的通讯与交互技术,提出了解决大规模数据传输中延迟的有效方法。Mccarty 等^[7]研究了异地用户网络协同工作的技术问题。浙江大学开展了分布式图形系统与工作站机群系统的应用基础研究。Renze 和 Oliver 等^[8,9]进行了加快图像生成速度的研究。Szeliski 等^[10]应用图像剪辑技术实现了自动生成研究对象的虚拟场景,同时还提出了对象的坐标变换、图像剪辑、图文混合等实用算法。Rokita^[11]从光学原理的角度研究了深度信息的表示方式。日本 MEWOO 的虚拟建筑物系统可以使得房地产商能够根据用户需要设计建造房屋^[3]。

20 世纪 90 年代以来,随着计算机图形图像技术、可视化技术、多媒体技术等计算机工程技术的高速发展,VR 技术引起了我国各界的广泛关注^[12],各技术领域先后积极开展建立虚拟环境、虚拟场景模型、分布式 VR 系统等的应用开发研究^[13]。具有代表性的成果主要有:北京大学利用面向对象技术与 OpenGL 语言开发了基于 PC 机的 PCVRS^[14]VR 系统。清华大学国家光盘工程研究中心应用 Quick Time 技术出版了我国第一个 VR 电子出版物《布达拉宫》。水利水电工程建设是一个受自然条件制约严重的超大型人造系统,应用 VR 技术对其进行仿真模拟与控制研究,能极大地增强人类对水利水电工程

建设中客观规律的认识与对工程建设的控制,因此,VR 技术在水利水电工程领域有着广泛的应用前景,并极有可能产生巨大的经济效益与社会效益。

2 基于 VR 技术的仿真与建模

传统的系统仿真技术很少研究人的感知模型的仿真,因而无法模拟人对外界环境的感知(听觉、视觉、触觉)。随着多媒体技术、计算机动画、传感技术的发展,计算机模拟外界环境对人的感官刺激开始成为可能。事实证明,人类对于图像、声音等感官信息的理解能力远远大于数字和文字等抽象信息的理解能力。把 VR 技术引入系统模拟仿真的各个阶段,可使人沉浸其中,对所需解决的问题有清晰的认识,而不必在屏幕外面去观察仿真的结果,将使模型的建立和验证更加方便。VR 技术主要体现在:计算机根据所建立的领域知识库和数据库运用人工智能、模式识别等技术,主控机构进行建模、学习、规划和计算。通过三维动画制作和显示头盔进行该领域的视觉模拟,通过传感机制和触觉手套来进行该领域的模拟,通过音响制作和音效卡进行声音模拟,通过机械控制和传动装置进行动感模拟。然后将人对这些感官刺激所作的动作反应反馈给主控机构,从而实时产生新的感觉模型的模拟^[1]。

3 VR 技术在水电工程施工中的应用

3.1 施工方案优化研究

在水电工程的施工过程中,先期技术成果演示和论证技术有其广阔的应用前景。利用 VR 的先期演示和论证技术,可以在计算机模拟系统中从“真实”的角度去观察任何新技术的预演,既避免了风险,又提高了成功率,同时也减少了不必要的浪费。例如大型水工建筑物的混凝土浇筑往往需要一次成型,这就需要解决混凝土的运输问题。混凝土的浇灌和输送方法,对建筑主体结构的经济性和质量有着重要影响。众所周知,建筑物的高度越高,混凝土输送的距离也将随高度增加,如何合理地选用混凝土的输送设备,对提高施工效率,保证混凝土工程的质量及加快整个工程的进度有着重要作用,因而在选择输送方法时,应对许多因素综合地加以考虑。然而运输计划是否可行,不可能去实际演习,只能在计算机中进行仿真模拟。作为一个决策者和管理者,为了处理其中可能出现的问题,也需利用虚拟的环境去解决。还有,大型混凝土浇注后的散热等问题都需要一个虚拟的环境去进行先期的技术演示论证,而这就需要运用 VR 技术。

新型的施工方案,设计者往往为自己的大胆设

想而激动,但是我们不可能实际去尝试、验证其是否正正确.如何验证其可行性?先期技术演示论证为大胆的设想提供了一个演示的舞台,而VR技术则是其实现的重要支撑技术和手段.发展VR技术在这方面的应用,必将给整个建筑业带来一场革命.

3.2 施工过程仿真模拟

以混凝土浇筑为例,它通常包括立模、架设钢筋、浇注、振捣、拆模、养护等多道工序,而这些工序中涉及的因素繁多,其间关系复杂,直接影响着混凝土浇筑的进程,是复杂的大型动态系统.模拟施工过程是为了通过仿真手段,去发现实际施工中存在的问题或可能出现的问题,这就需要对实际施工进行仿真.而目前施工过程的模拟只是从几何形体方面模拟施工的过程,即按浇注次序由下而上,根据几何形状加以着色来实现对施工过程的模拟.现有的模拟只是对进度计划起到了一定作用,并没有对施工过程起到真正的作用.

基于以上原因,需要对施工过程建立合适的模型,以达到模拟仿真的效果.例如,大型水利枢纽混凝土运输浇筑系统的模拟仿真模型,是由运输子系统和浇注子系统构成,模型按进程交互的仿真策略来建立,按这种条件建立的模型能与仿真程序间保持紧密的对应关系,程序所要模仿的行为比较直观、清晰.程序流程直接与模型结构和系统状态相对应.如果在其中引入VR技术,使其实现对施工过程的仿真模拟,并且通过人机接口(头盔、立体眼镜以及数据手套等)使得决策者处于这一虚拟的环境之中,则达到了模拟施工过程,发现问题的目的.

4 VR技术在减灾、防灾中的应用

长期以来,人类一直与洪水、火灾、地震等自然灾害进行着坚持不懈的斗争.由于自然灾害的原型重复实验几乎是不可能的,因而计算机仿真在这一领域的应用就更有意义.VR技术在减灾、防灾仿真建模中的应用已在积极尝试之中.1993年,英国的Colt Virtual Reality公司开发了一个称为Vegas的火灾疏散演示设计模拟仿真系统.该系统是基于Dimension International的Superscape VR系统而开发的,该系统的三维动画可以演示火灾时人员的疏散情况,并可以方便地修改各种参数.应用该系统对地铁、港口等典型建筑物火灾时的人员疏散情况进行了模拟仿真验证,取得了良好的效果.该系统使用户具有沉浸感,让用户能够亲身体验火灾时的感受.根据用户的描述,研究火灾时人们的心理表现.另外,还可以进行消防人员救火抢险的模拟训练,疏散人群的模拟训练^[3].

利用VR技术还可以建立其它抗灾、防灾的仿真模型,使社会具有一定的应变能力.例如,在洪水泛滥时淹没区的洪水发展过程演示中,可以预先存储泛滥区的地形地貌和地物,有高程数据可确定等高线,只要输入洪水标准(如100年一遇的洪水)及预定河堤决口位置,计算机就可根据水量、流速区域面积及高程数据算出不同时刻的淹没地区,并在显示器和大型屏幕上显示出来.人们从屏幕上可以看到水势从低处向高处逐渐淹没的过程,这样对防洪规划以及遭遇洪水时指导人员疏散是很有用的^[3].

5 结构有限元分析的可视化技术

可视化技术在结构有限元分析中有着广泛的应用.有限元分析中各种数据处理不仅数量大,而且较抽象,难于理解.工程师更愿意用内力图来表示内力情况,用单元受力图来表示某点的受力状态,用挠度来表示某种荷载下构件或结构的弯曲程度,虽然这些力和挠度是眼睛观察不到的.在这种情况下,应用可视化技术可以做到一目了然.

在运用传统的有限元法进行结构分析时,结构应力的结果通常采用内力图等力线的形式描绘出来,给人以直观的印象.利用VR技术则可以通过颜色的深浅给出三维物体中各点力的大小,用不同颜色表示出不同的等力面,也可以任意变换角度,从任何点去观察.还可以利用VR的交互性能,实时修改各种数据,以便对各种方案及结果进行比较.这样就使工程师的思维更加形象化,概念更易于理解.

超高层、超大跨度建筑和特大跨度桥梁这些超大型复杂结构的设计、工程控制和施工控制需要进行多次的结构重分析.如对斜拉桥和大型连续梁桥的理想后退分析、实时前进分析等.分析之前,要建立有限元结构分析总模型和施工阶段模型,其中包括单元拓扑结构、节点信息、刚度数据、材料特性、边界支持条件、荷载分布等.把可视化计算技术应用于这些超大型复杂结构的设计、工程控制和结构分析中,将增强计算软件的前后置处理能力.例如,在桥梁工程控制和结构分析的可视化计算中,有倒退(拆)分析结构倒拆动态演示、结构理想施工线型显示、施工阶段主梁形心线的设计曲线和实测拟合曲线的显示、前进分桥结构拼装动态演示、施工预告图形显示、主梁内力图显示、危险截面应力分布图显示等.

更重要的是能借助图形或图像来进行实时动态地控制结构的重分析和获取施工控制数据,同时能实时动态演示,以及控制设计和施工的过程.

6 用 VR 技术展示设计成果

用 VR 技术展示设计成果是一种理想的方法. 这种设计成果的展示, 既可以面向大众, 作为宣传的需要, 又可以将方案展示给业主, 供其提出修改意见, 及时修改, 以增加方案的竞争能力. 在设计阶段, 利用各种建模工具, 对拟建建筑物以及周围环境进行数字化处理, 对其进行仿真建模(此时的模型比例为 1:1), 得到虚拟世界中该拟建建筑物的实体模型, 而后按真实三维位置放置建筑物, 同时考虑周围地形的轮廓, 再次加上建筑细节, 以便准确地表现该环境的美学特征. 综合编辑各种对象(文字、表格、图形、虚拟世界中用多维信息所描述的对象以及真实世界在虚拟空间中的映射), 在其中增加动画和对象的动态行为, 同时利用虚拟艺术制作工具和虚拟世界编辑器, 形成一个存在于虚拟世界中拟建建筑物的“客观实体”. 最后, 在各种输入、输出软件和设备的支持下就可以实现对该建筑物设计成果的预先展示. 据此对拟建建筑物结构进行创建、修改和可视化. 其设计开发系统框图如图 1 所示.

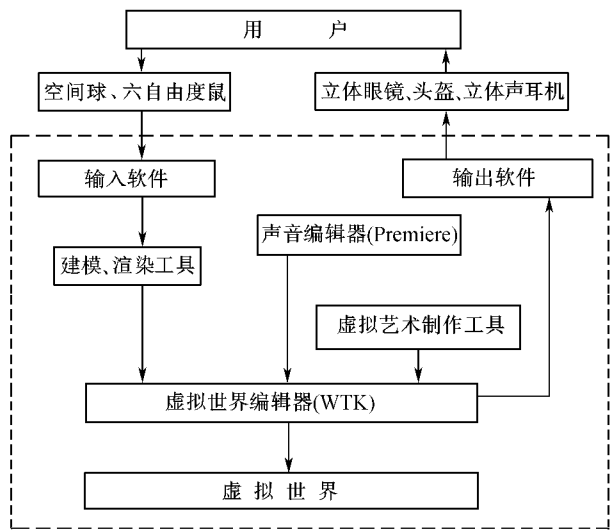


图 1 VR 技术设计开发系统框图

例如, 水利枢纽设计方案的关键是方案能否为人们所接受, 方案是否具有竞争力. 一般地, 方案主要由以下几个方面组成: 工程地点的路线、水文、地质、气象、地形等交通资料信息的处理, 枢纽各建筑物的平面图、立面图、结构设计图、钢筋布置及部分详图, 基础设计资料, 工程概预算等.

如果采用 VR 技术, 就可以考虑用另一种方式来表现设计方案. 把当地的地形、景观和交通条件和设计方案输入建筑物漫游的 VR 系统中, 人可以漫步坝上, 也可以从任意视点、任意角度来观察枢纽的形象, 甚至可以驱车通过大坝, 得到类似枢纽建成后的感受. 结构设计方案也可以采用三维建模的方法

直观、形象地展示出来. 而工程概预算等其它信息则可以用声音等多媒体的方式表现出来. 这种 VR 系统可以设计成交互性很好的系统, 用户可以很方便地选取任何细部去看, 给人留下深刻的印象.

7 结 语

VR 技术是一项面向 21 世纪的新兴高科技技术, 它在理论、软硬件环境的研究方面还要依赖多种技术的综合, 它还有很多不完善的地方, 其中如何普及 VR 系统的软件和硬件正在进一步研究之中. 水电工程结构复杂, 涉及因素众多, 如何快速高效地建立仿真模型是值得研究的问题. 同时, 水电工程 VR 技术研究者应基于现有条件, 结合工程应用, 进行更深入的研究, 以推动 VR 技术本身的发展. VR 技术在水电工程中有着广阔的应用前景, 它将带给我们一个崭新的天地, 为各行各业的生产与研究带来质的变革.

参考文献:

[1] 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境(VR)技术的理论、实现及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
[2] 张跃. 土木工程中的虚拟现实技术[N]. 科技日报, 1997-06-23.
[3] 张跃, 张丛哲. 土木工程中虚拟现实技术的发展与展望[N]. 计算机世界, 1998(5): D版 D1-D3.
[4] Ribarsky W, et al. Visualization and analysis using virtual reality[J]. CG&A, 1994(1): 10~12.
[5] Ken Pimentel, Kevin Teixeira. Teaching your system to share[J]. CG&A, 1994(1): 60~65.
[6] Barrus J W, Anderson D B, Richard C. Locales: supporting large multiuser virtual environments[J]. CG&A, 1996(11): 50~57.
[7] Walter E, Dean J, Macarty R G. A virtual cockpit for a distributed interactive simulation[J]. CG&A, 1994(1): 49~54.
[8] Renze K J, James H. Generalized unstructured decimation[J]. CG&A, 1996(11): 24~32.
[9] Jason Leigh. Supporting transcontinental collaborative work in persistent virtual environment[J]. CG&A, 1996(7): 47~51.
[10] R Szeliski. Video mosaics for virtual environment[J]. CG&A, 1996(3): 22~30.
[11] Przemyslaw Rokita. Generating depth-of-field effects in virtual reality application[J]. CG&A, 1996(3): 18~22.
[12] 刘锦德, 敬万均. 关于虚拟现实——核心概念与工作定义[J]. 计算机应用, 1997(5): 1~4.
[13] 马小虎, 潘志庚, 石教英. 虚拟现实系统的体系结构和软件开放工具[J]. 计算机工程与应用, 1997(8): 36~40.
[14] 王宏武, 蒋宇全, 董士海. 基于 PC 的虚拟现实系统开发平台——PCVR[J]. 北京大学学报, 1996(9): 641~649.

(收稿日期 2000-04-03 编辑 张志琴)