

文章编号: 1005-3026(2003)05-0464-03

# 虚拟现实技术在混凝土泵车设计中的应用

周淑文<sup>1</sup>, 张国忠<sup>1</sup>, 张思奇<sup>2</sup>

(1. 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 澳门大学 科技学院, 澳门)

**摘 要:** 在对混凝土泵车及布料机构运动学进行细致分析和研究的基础上,采用虚拟现实技术、机器人技术、智能优化技术,对混凝土泵车的工作过程进行了虚拟。重点研究了三维模型的读取,虚拟环境的生成以及遗传算法的智能搜索。在 3DMAX 中设计的混凝土泵车模型,通过接口将其导入虚拟环境并对其进行控制。采用 Visual C++ 6.0 进行编程,开发了混凝土泵车虚拟现实系统。该系统具有界面友好、操作简捷、真实感强等特点。

**关键词:** 虚拟现实;混凝土泵车;遗传算法;模型读取;对象控制

**中图分类号:** TP 311.52

**文献标识码:** A

我国的泵车设计与生产的时间不长,设计手段与方法相对较低。为了迅速缩短与国外混凝土泵车技术水平的差距,有必要研究一种新的方法与途径来设计现代混凝土泵车,以便在激烈的市场竞争中抢得先机<sup>[1]</sup>。

另一方面,虚拟现实技术(Virtual Reality)的兴起为人机交互界面的发展开创了新的研究领域;为智能工程的应用提供了新的界面工具;为各类工程的大规模的数据可视化提供了新的描述方法<sup>[2]</sup>。这种技术在许多不同领域已经获得了应用<sup>[3~8]</sup>,带来巨大的经济效益和社会效益。利用这项技术,在新产品、新计划或新概念还远没有成为现实之前,人们就能够以较为现实的方式对其进行观察、研究和探索。

本文试图将虚拟现实技术应用于混凝土泵车的设计中,以期提高该产品的设计水平,缩短开发周期,降低生产成本。

开发虚拟现实系统,一般需要解决以下三方面问题:创建三维模型;建立虚拟场景;场景中对象的控制。

## 1 创建三维模型

在虚拟的环境中,需要表现的几何实体表面的复杂程度一般各不相同。对于那些简单的几何形体,可以在其表面上拾取一定数量的控制点,然后用三角形去拟合;较复杂的曲面可以用贝塞尔

曲面、B样条曲面去拟合;但对于那些非常复杂的图形,就不可能只依赖于单纯利用 OpenGL 的实例库提供的基本几何体来构造,一次性地在内存中使用基本的绘图语句编写显然也不现实;因此必须考虑一些合适的三维数据结构保存这些复杂的三维模型。保存三维图形数据的方法多种多样,有参数曲线法、CSG描述法等,但最常用的保存三维模型方法是多边形逼近法。由于 OpenGL 中提供了最基本的由多边形构造三维模型的方法,因此从三维图形数据文件中读取模型数据并在 OpenGL 中绘制就非常容易了<sup>[9]</sup>。

当前具有三维造型功能的软件有很多,大型的有 UG、ProE 等软件;小型的有 3DMAX、AutoCAD 等软件。这些软件都提供了与其他格式模型数据交换的接口。通过这些接口,可以将各种各样格式的模型数据转换成熟悉的格式,然后只需编写一种格式的数据接口,则对其他格式的数据模型也可以进行读取。在本文中,采用 3DMAX 进行三维造型,不仅仅是因为 3DMAX 在曲面造型方面独具一格,能够方便地对曲面进行交互式设计与修改,而且可以利用 3DMAX 丰富的插件,方便地将三维形体以 obj 的格式输出。

Wavefront 的 obj 模型文件结构非常简单,很多文本编辑器可将这种文件打开,也可对其进行编辑。它是由一些文本行组成的,每一行文本都是由一个关键字开头,后面紧接着是该关键字所表

收稿日期: 2002-06-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59835050)。

作者简介: 周淑文(1977-),男,江西进贤人,东北大学博士研究生;张国忠(1936-),男,黑龙江哈尔滨人,东北大学教授,博士生导师。

示含义的具体参数,如表 1 所示.例如以“v”开头表示该行将描述一个顶点信息,那么后面一定将跟着三个 double 型字符串,分别用于描述该顶点的三维坐标.obj 文件不仅可以定义多边形模型,也可以定义自由曲面模型.

根据三维物体在 OpenGL 中的表现方式,可以编制针对 obj 格式的接口.编程的思路就是利用一定数量的多边形去拟合物体的表面.

表 1 Wavefront 关键字取值及含义  
Table 1 Wavefront keywords and meaning

关键字	含义	关键字	含义
v	顶点几何坐标	p	点
vt	顶点纹理坐标	l	线
vn	顶点法向量	f	面
vp	参数空间顶点	curv	曲面
sctype	有理或无理曲面造型	g	组名称
deg	角度	s	平滑组
bmat	基本矩阵	mg	合并组
step	步长	o	对象名称
usemtl	材质名称	mtllib	材质库

2 建立虚拟场景

在虚拟现实系统中,虚拟场景包括三维几何场景与多媒体系统.对于一个较好的虚拟现实系统,必须做到二者的有机结合.图 1 为本虚拟现实系统的总界面.



图 1 虚拟现实系统总界面  
Fig.1 Main interface of VR system

2.1 三维场景的建立

三维场景的建立也是一个关键技术,它的好坏直接影响到虚拟现实系统的成败.为了使系统中的场景真实、逼真,在本设计中,很多场合都采用了纹理映射技术,例如将水泥地面的真彩色位图,映射在一个平面上,从而构成虚拟场景中的地面.应用同样的方法,将背景图片映射在场景中.而场景中的工艺树,则是通过调用数据接口模块将在 3DMAX 中绘制好的工艺树在 Visual C++

中重现,如图 2 所示.要在场景中建立多棵树,只需重复调用显示列表.由于对于每一个显示列表,只能赋予一种材质及一种颜色,若要对一个对象赋予不同的材质或不同的颜色,则要使用多个显示列表.在本设计中,同一棵树只使用一种颜色.场景中的建筑物,也是通过数据接口将 3DMAX 的模型读入.

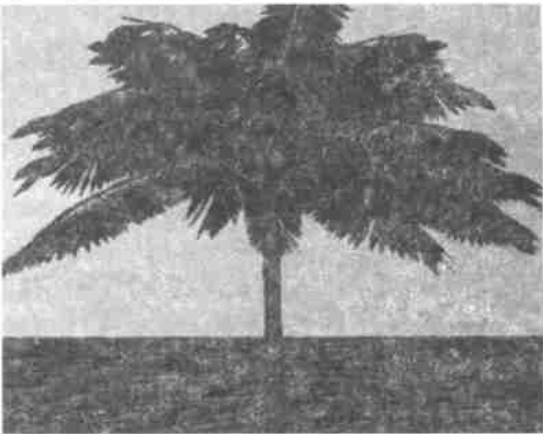


图 2 现场景中的工艺树  
Fig.2 Technical tree in the virtue scene

2.2 虚拟环境中的音效系统

听觉通道是虚拟设计系统的最重要的接口之一,被认为是仅次于视觉反馈的第二信息通道.实践证明:听觉反馈有时比视觉反馈更容易引起用户的注意,使用户更快地作出反应.例如,在一个虚拟装配系统中,若在视觉图像显示的同时配合三维声音提示,那么虚拟装配过程会容易得多.无疑,用户在具有视听配合的虚拟环境中能获取更多信息,会感到虚拟环境更加真实<sup>[10]</sup>.

在混凝土泵车启动的时候,系统发出一种声音(可从互联网上获得).在浇注的时候,由于输出功率的增大,这时用程序自动将声音的音量增大.在不同的场合使程序发出不同的声音,这样就给使用者一种非常真实的感觉.

3 场景中对象的控制

虚拟现实系统一个非常显著的特征是使用者能够与系统进行交互,缺少了交互这个特征,就会令使用者置身于系统之外,成为旁观者,这显然是不可取的.在本虚拟现实系统中,既可以对泵车整体进行控制,又可以对单个构件进行控制;既可以手动控制,也可以自动控制.例如,当用户按下“行走”按钮,泵车将在地面上开始行走,也可以通过键盘进行控制.在手动方式时,可通过移动控制面板上的进度条对四节臂进行控制.通过控制臂架的 5 个自由度,可以将混凝土浇注口移到臂架包

络图中的任意位置。

在本系统中需要对布料杆、支腿、车轮进行控制,其中布料杆和车轮全部为旋转运动,支腿既有旋转又有平移运动。在 OpenGL 中已经封装了各种坐标变换,只需调用这些函数就可以了。这些函数默认的是对原点进行旋转或平移,所以关键在于定义各构件的局部坐标原点。在本设计中,是在 3DMAX 中将各构件的局部坐标原点移到空间坐标原点,这样虽经 3DMAX 输出为 obj 的文件格式,各构件的坐标原点并没有变化。图 3 中泵车的支腿是先对大腿实施旋转变换,然后再对小腿实施平移变换的结果。



图 3 泵车支腿展开图

Fig. 3 Spreading leg of concrete pump car

在手动方式下,只需通过控制各对象所对应的进度条来改变坐标变换函数中的数值即可实现对象的平移或旋转。在自动浇注方式下,是通过使用定时器来控制坐标变换函数中数值的变化。当需要浇注口进行连续运动时,例如浇注大梁、地基等,这些可简化为浇注口进行直线和矩形区浇注。

在本设计中,采用遗传算法对各关节角进行优化,用杆件间的夹角变化量的平方和最小为控制逆解的主要性能指标。在开始浇注前,采用遗传算法搜索到一定数量的最优关节点,然后利用插补算法对中间的位姿进行插补。经过调试可以看

出,采用遗传算法可以搜索到各关节的最优解,浇注口能较好地沿着预先设定的直线进行移动。

## 4 结 语

本文将虚拟现实技术应用于混凝土泵车的设计开发中,相对于以往的二维 CAD 系统是一次较大的飞跃。可以很容易地利用本系统对控制算法进行验证。有理由相信,本系统对现代混凝土泵车的研究、设计改进和升级换代必将起到很好的促进作用。

## 参考文献:

- [1] 郭立新. 泵车布料机构机器人化若干问题的研究[D]. 沈阳:东北大学, 1999. 1 - 26.  
(Guo L. X. Study on some problems of concrete pump car boom robotization[D]. Shenyang: Northeastern University, 1999. 1 - 26.)
- [2] Ellis S. What are virtual environment? [J]. *Computer Graphics and Application*, 1994, 14(1): 17 - 22.
- [3] Her M G, Hsu K S. Haptic direct-drive robot control scheme in virtual reality [J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2002, 35(3): 247 - 264.
- [4] Kaufmann H. Construct3D: a virtual reality application for mathematics and geometry education [J]. *Education and Information Technologies*, 2000, 5(4): 263 - 276.
- [5] Tel F, Toth E. Stereo image processing and virtual reality in an intelligent robot control system[J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2000, 27(2): 113 - 134.
- [6] Impelluso T. Physically based virtual reality in a distributed environment[J]. *Computer Graphics*, 1996, 30(4): 60 - 61.
- [7] Margaret D. Creating art through virtual environments[J]. *Computer Graphics*, 1997, 31(4): 34 - 35.
- [8] Tushar H, Rajit G. Creation of concept shap designs via a virtual reality interface[J]. *Computer Aided Design*, 1997, 29(8): 555 - 563.
- [9] 费广正, 乔林. Visual C++ 6.0 高级编程技术——OpenGL 篇[M]. 北京:中国铁道出版社, 2000. 156 - 254.  
(Fei G Z, Qiao L. Visual C++ 6.0 advanced program technique—OpenGL part [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2000. 156 - 254.)
- [10] 刘宏增, 黄靖远. 虚拟设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1999. 110 - 111.  
(Liu H Z, Huang J Y. Virtue design [M]. Beijing: Machanical Industry Press, 1999. 110 - 111.)

## Application of Virtual Reality on Concrete Pump Car Design

ZHOU Shu-wen<sup>1</sup>, ZHANG Guo-zhong<sup>1</sup>, ZHANG Si-qi<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macau. Correspondent: ZHOU Shu-wen, E-mail: zhoushuwencn @ yahoo.com)

**Abstract:** Virtual Reality, robot technology and intelligent optimization method were applied to simulate the working process of a concrete pump car. Data reading from three-dimensional model, virtual environment creation and intelligent search with genetic algorithm were studied. The concrete pump car was modeled in 3DMAX, then it was imported into the virtual scene. The model can simulate the process of concrete pouring, through which search algorithm can be tested. A virtual reality system was developed with Visual C++ 6.0. The interface is friendly and authentic. The simulation suggests a new way to develop a concrete pump cars.

**Key words:** virtual reality; concrete pump car; genetic algorithms; model read; object control

(Received June 4, 2002)