

# 盾构机虚拟培训关键技术<sup>①</sup>

吴恩启<sup>1</sup>, 王宝震<sup>1</sup>, 闵锐<sup>2</sup>, 杜宝江<sup>1</sup>, 胡其立<sup>1</sup>, 袁婧<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

<sup>2</sup>(上海隧道股份机械工程分公司, 上海 200137)

**摘要:** 基于虚拟现实交互技术, 开发了适于盾构机隧道施工操作的虚拟培训系统。采用成组混合 LOD 技术生成了盾构虚拟样机模型, 并构建了盾构机挖掘隧道的虚拟三维工作场景。通过对模型和场景的优化, 使其场景效果更加逼真, 交互操作更为流畅, 模型加载效率提高了 75% 以上。该虚拟培训系统同时集成了施工经验、维护经验等数据库, 为盾构施工培训提供了强有力的工具, 大大提高盾构施工人员的培训效率。

**关键词:** 盾构机; 虚拟培训; LOD 技术; 交互技术; 隧道施工

## Virtual Training Technique of TBM

WU En-Qi<sup>1</sup>, WANG Bao-Zhen<sup>1</sup>, MIN Rui<sup>2</sup>, DU Bao-Jiang<sup>1</sup>, HU Qi-Li<sup>1</sup>, YUAN Jin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

<sup>2</sup>(Mechanical Engineering Company, Shanghai Tunnel Engineering Co. Ltd., Shanghai 200137, China)

**Abstract:** A virtual training system of tunnel boring machine (TBM) is developed based on virtual reality Interaction Technology. With mixed group LOD technology, the virtual prototype and virtual scene are constructed. Through the optimization of the model, the virtual scene is more realistic, the interactive operation is more frequently, and model load efficiency is increased more than 75%. Integrated experience database of construction and maintenance, the virtual system can provide the qualified and efficient train to TBM workers.

**Key words:** TBM; virtual training; LOD; virtual prototype; tunnel construction

盾构掘进机集机、电、液、传感、信息技能于一体, 具有开挖切削土体、运送土碴、拼装隧道衬砌、丈量导向纠偏等功能。盾构掘进机已普遍用于城市轨道交通、铁路、公路、市政、水电等隧道工程。据统计, 我国目前共有三十多个城市正在进行轨道交通前期规划、设计、筹备和建设等工作。今后 10 年间将建设各类盾构法隧道 5000 余公里, 因此盾构机将会得到广泛的应用。但盾构设备结构复杂、自动化程度高, 而且常常根据不同的要求进行专门设计制造<sup>[1,2]</sup>。因此如何保障施工过程的质量和安全性是广大隧道施工单位优先考虑的问题。

为了保障对建设质量以及人员和设备的安全, 在隧道开工前必须对相关人员进行专业培训。目前盾构主要采用传统的培训方式, 即通过集中上课的方式。

但出于安全考虑, 学员不能进入到施工现场观看设备内部结构和运转操作情况, 因此培训效果并不理想<sup>[3]</sup>。随着盾构相应的技术资料增多, 原有的资料管理和员工培训方法逐渐暴露出信息表达不直观、资料共享度不高等问题。在竞争日益激烈的今天, 如何弥补传统培训的缺点, 提高培训效率, 降低培训成本, 快速培养出合格的工作人员, 是众多企业需要解决的一个重要问题。虚拟培训技术已经在变电站管理、油气集输、设备维修等方面得到了应用<sup>[4-7]</sup>。但由于盾构机的复杂性及工作的特殊性, 其相关虚拟培训技术在国内尚未开始研究。本文利用虚拟现实技术, 创建虚拟的盾构机工作环境, 并构造了一个高效、逼真的交互操作环境, 使学员达到身临其境的感觉。利用成组混合 LOD 技术, 提高了模型的加载速度, 增强了画面的流

① 基金项目:上海市教育委员会重点学科建设项目(J50503)

收稿时间:2011-06-29;收到修改稿时间:2011-08-03

畅性。本系统同时可为盾构机设计人员及隧道工程设计人员提供参考。

### 1 系统结构

盾构机是根据挖掘环境和实际工况要求进行设计的，各类盾构机的具体结构及操作流程也稍有差异。因此应充分考虑这种差异性，使虚拟系统广泛应用到各类盾构机的培训。盾构机虚拟培训系统涉及到虚拟现实技术、数据库技术、建模与仿真技术、人工智能技术、计算机辅助设计技术和网络技术，其系统架构如图 1 所示。

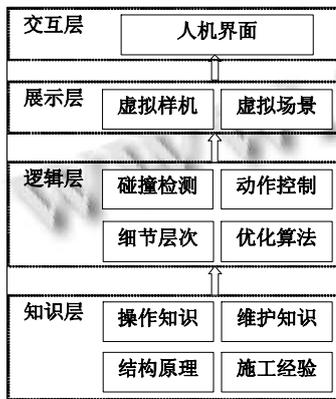


图 1 盾构机虚拟培训架构

交互层主要是人机界面，培训方式可分为演示模式、操作模式和考试模式三个方面进行。展示层是指用户能够直接看到的内容，包括盾构机的虚拟样机、工作过程中各部件的动作、虚拟环境以及工作对象的虚拟模型等，其主要目的是构造一个虚拟的施工场景，用以代替真实的工作环境。逻辑层主要用于数据的分析和处理，提供高效的算法，包括运动模型的动作控制、碰撞检查、模型的显示方法等。而知识层为系统提供理论知识和经验知识的支撑，除了盾构机的结构和原理，还包括相关的操作、维护知识和施工经验等。

### 2 虚拟样机的建立

盾构机主要由刀盘装置、刀盘驱动装置、盾构推进系统、盾尾密封装置、管片拼装机、螺旋输送机、皮带输送机、液压系统等部分组成，零件达数千个。为了保证系统有效的运行，采用成组混合 LOD 技术进行建模。根据样机的结构，将模型分为若干组件  $M_1$ ，

$M_2 \dots M_j$ ，每一组件创立两种模型：一种是不影响视觉效果简化模型  $M_{1j}$ ，只创建组件的大体外形，而省略细节问题；另一种是详细模型  $M_{2j}$ ，按照组件的实际结构进行建模，保持了原有模型的细节，并通过相关处理，增强模型的视觉真实度。为了提高运行效率，设定  $D$  为模型变换距离，在视点和样机距离大于  $D$  时，采用远景样机加载。而当视点到样机的某个组件  $M_j$  距离小于  $D$  时，加载混合样机，即  $M_j$  及其周围组件使用详细模型  $M_{2j}$ 、 $M_{2j-1}$ 、 $M_{2j+1} \dots$ ，其余组件使用简易模型，如图 2 所示。

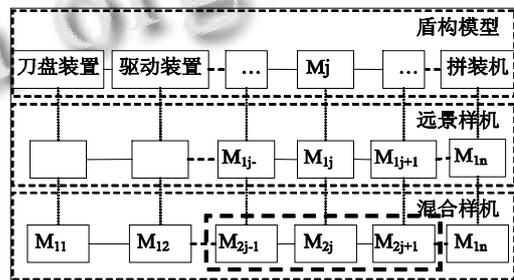


图 2 混合成组 LOD 模型

利用成组混合 LOD 技术后，其模型加载速度大大提高，如表 1 所示。从表中可以看出，采用成组 LOD 技术后，盾构各组成部分模型的导入效率都大幅提高，都在 75% 以上。

表 1 成组技术和一次加载速度的比较

导入模型	一次性加载 时间(s)	成组加载 时间(s)	效率 提高
刀盘	18.3	2.5	86%
推进系统	18.3	2.4	86%
铰接装置	18.3	0.7	96%
螺旋机	18.3	3.3	82%
拼装机	18.9	5.1	75%
...	...	...	
盾构机整机	120	20	83%

### 3 虚拟场景的生成

为了让学员能够真正沉浸于一个由计算机生成的虚拟环境中，必须使生成的环境足够逼真和自然，一个虚拟环境是否逼真，取决于人的感官对环境的主观感觉。人对环境的感知主要通过视觉、听觉、触觉、

嗅觉等来获取，因此，一个好的虚拟环境必须给这些感官提供与现实相似的刺激。视觉感知的质量在用户对环境的主观感知中占最重要的地位，虚拟环境的视觉效果是影响虚拟培训系统沉浸感的最重要的因素。

虚拟培训场景的构建首先要完成场景的三维建模，场景三维建模时建立虚拟培训系统的基础。盾构不但应用于隧道的挖掘，而且应用于城市地铁的建设。因此为了描述现实，其场景除了虚拟样机本身和与其相互作用的土层，还包括楼房、树木等，总体模型数量超过 1 万个。盾构机虚拟工作场景的建模主要包括三维视觉建模和三维听觉建模，视觉建模主要包括几何建模和运动建模，听觉建模把交互的声音相应增加到用户和对象中去。场景中的三维模型包括静态实体模型和动态实体模型。可以直接利用虚拟建模软件 VRML 定义虚拟场景中的对象，包括三维模型、纹理、材质、色彩，以及对对象几何体的评议、旋转、缩放等。对象的几何模型主要是利用 3D 建模技术建立，然后转换到 VRML 中完成其余的工作。对于动态的物体，通过 VRML 结合高级语言实现其动作。所建虚拟场景如图 3 所示。

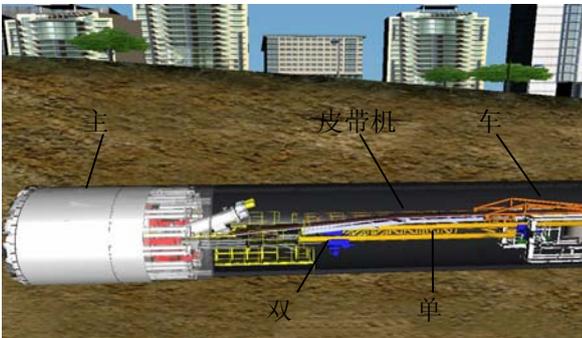


图 3 盾构机虚拟工作场景

#### 4 虚拟控制的实现

盾构机操作非常繁琐，包括作业前检查、盾构推进状态下操作、盾构拼装状态下操作、盾构辅助系统操作、气闸系统的操作和照明系统操作等。而每一个工作模块，都包括一定的操作流程。为了更好的展现控制界面和虚拟样机的联动，采用双显示器系统，如图 4 所示。一个显示器用于显示系统的集成界面、盾构操作界面，另一个显示器用于展示盾构机的动作以及检测界面。系统集成界面主要实现系统的管理、可扩展等相关工作。操作界面分为自动演示、交互操作

和考试模式。在该界面下，采用虚拟控制屏代替实际控制屏幕，实际设备上的按钮开关，也采用虚拟开关代替，如图 5 所示。开关及触摸信号传递到虚拟样机上，触发虚拟样机的动作，相关虚拟检测信号也同时显示出来，图 6 所示为盾构机拼装时的动作演示。虚拟样机模型及导入方式的优化，使交互操作的实时性更为流畅。

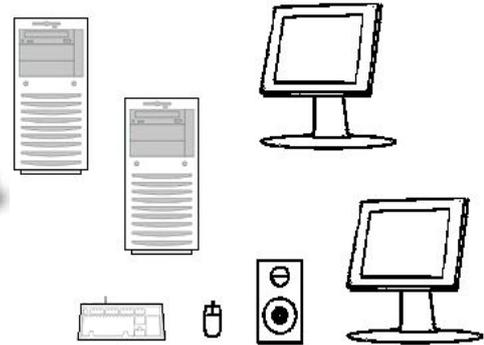


图 4 系统硬件构成



图 5 系统操作界面

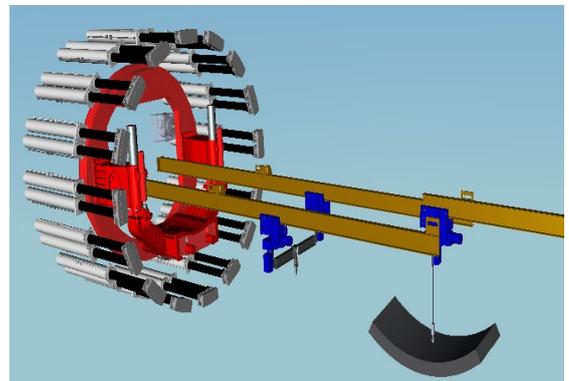


图 6 拼装动作界面

(下转第 197 页)

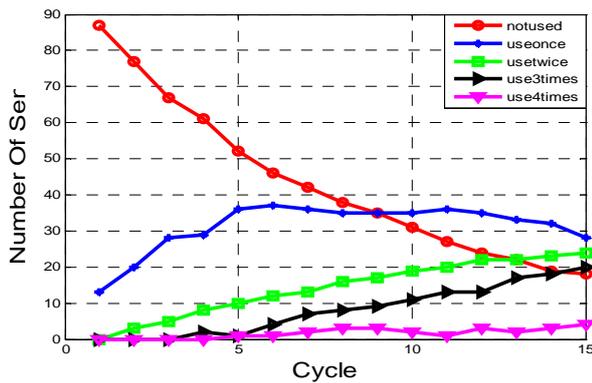


图 9 15 个周期节点使用次数统计

## 5 结论

本文将无线传感网络技术应用于矸石山的自爆监测系统中,通过对矸石山的温度采集,实现对矸石山的监控,当发生温度过高时,及时制定出高效的预防措施。通过量子遗传算法在网络自适应设计<sup>[9]</sup>中的应用,优化了网络的能量管理,在满足系统特定信息采集功能及网络的连通性的前提下,有效实现了网络负载的均衡配置,使网络生命周期达到最大化。

(上接第 153 页)

为了使学员掌握的知识更接近于实际情况,系统集成以往的操作经验和施工经验。将经验分类录入经验数据库中,如果在操作学习时遇到相同情况,经验知识会以文字或图片形式,为学员提供参考。

## 5 结论

盾构机虚拟培训能满足信息时代技能培训不断变化的需求,是一种高水平、高效率、低费用的新型柔性培训模式,它使得人员培训无论是在应用范围、时间选择、还是在培训的难易程度和绩效评价上都有着其它培训方式所无法比拟的优越性。本文利用成组混合 LOD 技术,提高模型的加载效率达 75% 以上,增强了动画的流畅感,为盾构机及其他大型机械培训系统模型加载提供了新的手段。

### 参考文献

1 邢彤,龚国芳,杨华勇.盾构刀盘驱动扭矩计算模型及实验研

### 参考文献

- 1 卢淑芝.阜新市煤矸石山的综合治理.能源环境保护,2003,(3):35-36.
- 2 纪红.无线传感器网络未来新的高技术产业.当代通信,2004,(3):21-22.
- 3 张继华,庄益诗,颜语.无线传感网络在预防煤矸石山自燃中的应用.传感器与微系统,2010,(9):135-137.
- 4 丁礼良.量子神经网络模型及其算法研究[硕士学位论文].西安:西北大学,2009.
- 5 Wang Y, Sun YM, Yu BQ, Ma Y. The optimization of Wireless Sensor Networks in the open-pit mine slope detection base on quantum genetic algorithms. 1st International Conference on Electrical and Control Engineering, Wuhan China, June 25-27, 2010.
- 6 周明,孙树栋.遗传算法原理及应用.北京:国防工业出版社,1999.
- 7 张文修,梁怡.遗传算法的数学基础.西安:西安交通大学出版社,2000.
- 8 陈国良等.遗传算法以及应用.北京:人民邮电出版社,1996.
- 9 王焱,孙雁鸣,佟维妍.基于遗传算法的露天矿边坡检测传感网络优化.2011,(2):483-286.

究.浙江大学学报,2009,43(10):1794-1800.

- 2 朱合华,徐前卫,廖少明.土压平衡盾构施工的顶进推力模型试验研究.岩土力学,2007,28(8):1587-1594.
- 3 任伟建,张正辉,董宏丽,等.虚拟现实技术在油气集输仿真培训中的应用.系统仿真学报,2005,17(6):1418-1424.
- 4 张炳达,邓粟,刘长胜.实物性和虚拟性相结合的变电站培训仿真系统.天津大学学报,2003,36(1):120-123.
- 5 任伟建,张正辉,董宏丽.虚拟现实技术在油气集输仿真培训中的应用.系统仿真学报,2005,17(6):1418-1424.
- 6 杨宇航,苏曼迪,乔辉.复杂装备维修训练通用仿真系统.系统仿真学报,2008,20(11):2885-2888.
- 7 Stock I, Weber M, Steinmeier E. Metadata based authoring for technical documentation. Proceedings of the 23rd Annual International Conference on Design of Communication: documenting & Designing for Pervasive Information, SIGDOC 2005, Coventry, UK, September 21-23, 2005.