

文章编号：1005-8451 (2016) 04-0014-05

# 桥梁施工三维仿真培训系统的研究与设计

向阳，舒昕，芦亮，沈翔

(中铁大桥局 武汉桥梁特种技术有限公司，武汉 430074)

**摘要：**分析和研究了我国桥梁施工培训的现状，提出将计算机仿真技术应用到桥梁现场施工人员培训。研究和设计桥梁施工三维仿真培训系统，介绍该系统的构成、功能和特点，并且阐述了该系统的设计思想和技术路线。实验结果表明，桥梁施工三维仿真培训系统能对桥梁现场的施工操作和安全事故过程进行模拟仿真，使培训不受天气等恶劣环境的影响。缩短培训时间。节省培训费用。桥梁施工操作人员通过在该仿真培训系统上的演练，有利于快速掌握桥梁施工的工艺流程，积累施工操作经验，对保证桥梁施工的安全具有重要意义。

**关键词：**桥梁；三维仿真；培训

**中图分类号：**U245 : TP391.6 **文献标识码：**A

## Three-dimensional Simulation Training System for bridge construction

XIANG Yang, SHU Xin, LU Liang, SHEN Xiang

( Wuhan Bridge Special Technology Ltd., China Railway Major Bridge Engineering Group, Wuhan 430074, China )

**Abstract:** This article analyzed and researched on the current situation of bridge construction training in our country, put forward to apply computer simulation technology to the bridge site construction personnel training, designed Three-dimensional Simulation Training System, introduced the structure, function and characteristics of the System, described the design idea and technical route of the System. The experimental result showed that the Three-dimensional Simulation Training System for bridge construction could simulate the concrete operation and all kinds of faults, be not affected by the weather and other adverse conditions, shorten the training time, save the training costs. The bridge construction operator could exercise through the System to control the process of bridge construction, accumulate operation experience. It was of great significance to ensure the safety of bridge construction.

**Key words:** bridge; three-dimensional simulation; training

随着我国桥梁工程建设的高速发展，桥梁施工安全事故不断发生。事故的危害也逐渐增大，造成了巨大的经济损失，严重地威胁到人民的生命财产安全，带来恶劣的社会影响。在桥梁施工建设过程中，由于桥梁现场施工人员存在着安全生产意识薄弱、施工专业技术缺乏及工程建设经验不足等问题，人为因素而导致的桥梁施工事故频发。目前，国内桥梁施工人员数量众多，专业技术和文化程度参差不齐。传统的教学培训是通过文字和图片进行讲解，学员的操作实践机会较少，从而导致培训效果不理想，施工技能提高缓慢。桥梁现场施工涉及高空作业、大型机械设备的驾驶操作等，不仅危险性较大、而

且容易受到自然天气和现场设备条件的限制。因此，如何克服传统教学培训的缺点，提高桥梁施工培训的效率，是亟待解决的问题。

基于以上考虑，针对桥梁现场施工人员这一特殊人群，设计了面向桥梁现场施工人员的三维仿真培训系统，建立一个仿真模拟平台，一个虚拟环境，让受训人员产生身临其境的感觉，实现桥梁施工三维仿真模拟培训，达到减少安全事故发生，提升现场桥梁施工人员的技术操作水平，提高培训效率的目的。基于三维仿真的桥梁施工培训系统可以模拟桥梁现场的具体施工操作步骤和各种突发状况、安全事故等，节约了培训成本，提高了培训效率。本系统在 Windows 平台上，采用三维仿真引擎进行开发，通过三维仿真技术，三维建模技术和数据库技术等开发实现应用于桥梁施工的三维仿真培训系统<sup>[1]</sup>。

收稿日期：2015-10-08

基金项目：东湖国家自主创新示范区现代服务业综合试点项目（2011-dhfwy-029）。

作者简介：向阳，助理工程师；舒昕，助理工程师。

## 1 桥梁施工三维仿真培训系统概况

桥梁施工三维仿真培训系统包括键盘鼠标输入设备，三维仿真引擎子系统，数据库子系统和专家评估报警子系统。其中，三维仿真引擎为整个系统的核心部分，用户通过键盘鼠标的输入控制进行三维系统的交互操作，并将操作记录等一系列数据存储到系统数据库，专家评估报警系统通过读取数据库并对用户的操作等进行专家评估打分以及智能报警。桥梁施工三维仿真培训系统主要用于桥梁施工培训者的施工教学安全培训等<sup>[2]</sup>，学员通过系统实现对桥梁三维场景中实物的操作控制，达到身临其境的效果。系统总体架构如图1所示。

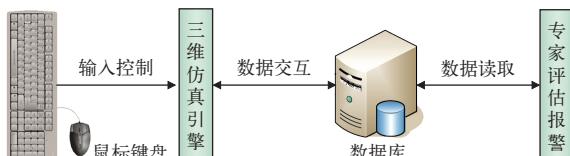


图1 桥梁施工三维仿真培训系统图

## 2 unity3d三维仿真系统

三维仿真系统是指利用计算机三维仿真技术建立一个模拟环境，构造一个具有视觉、触觉和听觉等多种感知的具有真实环境的培训系统。将三维仿真技术运用于桥梁施工过程，实现桥梁施工现场的三维场景漫游、同虚拟环境中的物体相互作用实现人机交互等，解决机械硬件设备、现场场地和天气环境等的限制。通过三维仿真引擎，用户可以模拟桥梁施工中的浇注、架设钢筋、养护等多种施工工序，使用户身临其境。三维仿真引擎通过用户的错误虚拟施工操作，还可以模拟操作事故、故障等，使用户可在虚拟三维仿真环境中，放心大胆的去做桥梁施工操作，规避桥梁现场真实环境带来的危险。

### 2.1 三维场景建模

三维虚拟场景建模步骤是：(1) 根据已获得的桥梁 CAD 图形，利用 3Dmax 建模工具制作桥梁模型，并依据桥梁现场获取的实物模型数据完成桥梁实物模型建模，将实物照片制作成纹理贴图；(2) 利用三维引擎制作纹理贴图映射，对桥梁三维场景中的三维模型进行纹理贴图，达到三维逼真效果，并通

过减少模型面数等优化技术对桥梁虚拟场景的模型进行内存开销方面的优化，提高整个桥梁三维仿真的运行速度；(3) 用三维引擎的外部引用功能把各个实物模型加入到桥梁三维场景中。具体操作流程如图 2 所示。

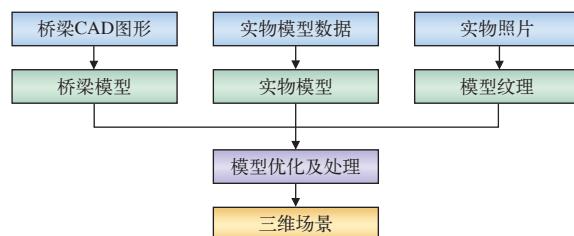


图2 三维场景建模流程图

### 2.2 三维场景漫游功能

在桥梁施工三维仿真培训系统中用户通过计算键盘的 W、S、A、D 按键控制人物的前进、后退、左转和右转，实现用户在桥梁三维虚拟场景中的漫游功能。系统根据检测到的键盘和鼠标事件，实现了用户与虚拟场景中物体的动作交互。

本系统采用 unity3d 三维引擎开发，在 unity3d 三维引擎系统 API 函数库中，Time.deltaTime 是常量，表示时间间隔，桥梁施工三维仿真培训系统每隔 Time.deltaTime 时间就会刷新一次。RotationSpeed 表示物体的旋转角度。通过 transform.Translate() 函数和 transform.Rotate() 函数可以分别用来控制人物在桥梁三维场景中的空间位移变化和旋转操作。Vector3.forward 和 Vector3.up 表示物体的移动沿着自身的正方向和沿着物体自身的 y 轴旋转方向。

例如，用户通过键盘的 W 键实现人物的前进功能，具体功能代码如下：

```

if(Input.GetKey(KeyCode.W))
{
    this.transform.Translate(Vector3.forward*Time.deltaTime*WalkSpeed);
}
    
```

同理，使用键盘 D 键，可以使人物向右转身<sup>[3]</sup>：

```

if(Input.GetKey(KeyCode.D))
{
    this.transform.Rotate(Vector3.up*Time.deltaTime*RotationSpeed);
}
    
```

)

以上两段功能代码实现了人物在桥梁施工三维场景中的空间位置移动变化以及人物的空间旋转操作，但是还缺少人物的行走动作，只有播放人物模型相应的行走动作才可以使人物真正的运动起来，达到人物行走的三维仿真效果。通过三维引擎 unity3d 函数库提供的 animation.Play() 函数可以实现对人物模型动画的调用，桥梁施工三维仿真培训系统中人物模型的行走动画命名为 go，在人物模型漫游的移动、转身代码中添加 animation.Play(“go” ) 方法实现人物的前进、后退以及转身等动作，如图 3 所示。

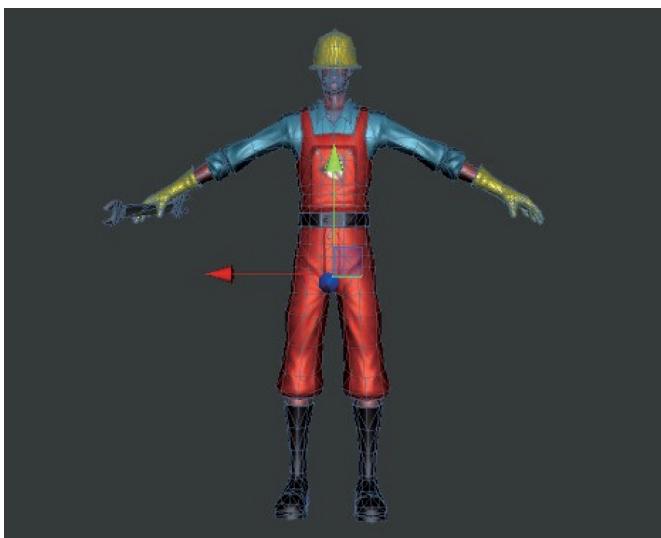


图3 三维人物漫游行走控制图

### 2.3 三维碰撞检测功能

三维碰撞检测是 unity3d 三维仿真引擎的核心功能之一，在桥梁施工三维场景中，桥梁施工人员三维模型是不能穿透其他实体物体模型的，需要对三维人物模型以及其他相对运动模型进行碰撞检测，否则模型之间会发生穿透现象。但是桥梁施工三维场景中的模型大多是不规则的模型，倘若对不规则三维模型的每一个坐标都进行碰撞检测计算，不仅计算工作量较大，而且需要花费较长的计算时间，不符合三维系统的实际功能需求<sup>[4~7]</sup>。

unity3d 三维仿真引擎采用包围盒碰撞检测算法，主要通过矩形盒碰撞检测（BoxCollider）和胶囊碰撞检测（CapsuleCollider）包围盒进行碰撞检测，如图 4 所示。不同的三维模型碰撞检测部分可采用相应的包围盒算法进行碰撞检测，这样可以避免不规

则模型的大量坐标计算，通过包围盒的简单计算便可检测出是否发生碰撞。通过包围盒碰撞检测算法可以大幅度提高不规则物体的碰撞检测时间，提高系统的运行效率。

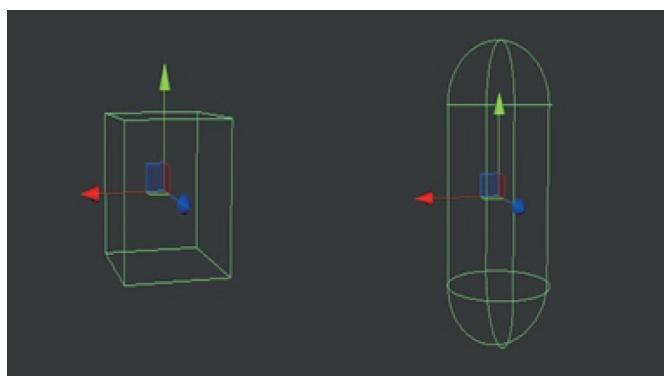


图4 三维仿真系统中不同的包围盒

桥梁施工三维仿真安全培训系统采用第一人称主视角的方式进行桥梁施工现场漫游，用户通过逼真的三维仿真漫游功能，在桥梁施工场地进行漫游行走，身临其境。为了避免人物穿墙而过等碰撞问题，本系统利用胶囊包围盒，通过计算胶囊包围盒的空间是否与其他模型物体发生碰撞，从而实现人物模型的碰撞检测。避免施工人员人物穿透三维场景内的物体模型。图 5 展示了加入胶囊包围盒 CapsuleCollider 后的人物模型<sup>[8~14]</sup>。

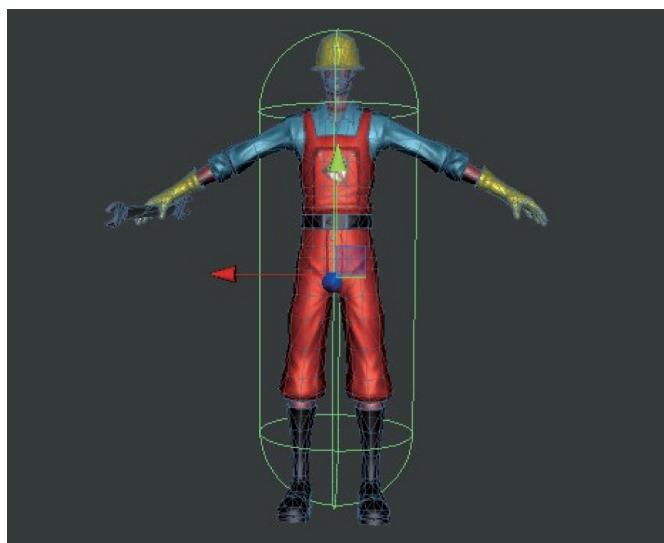


图5 添加CapsuleCollider后的人物模型

### 3 专家评估报警系统

专家评估报警系统主要包括统计评分和智能报

警两个功能。系统可以根据培训人员的施工操作进行专家评估打分，计算出培训人员最终的操作成绩。当培训人员在操作过程中出现操作错误，会引起安全事故时，系统还可以进行智能报警等<sup>[15]</sup>。

### 3.1 统计评分功能

系统管理员可先将桥梁施工操作手册中桥梁施工标准规范的操作过程录入到专家系统中，将需要考核评分的桥梁施工操作步骤设置相应的分数值，根据不同的施工操作的关键性和重要性设置不同分值的大小。在专家系统的设计中有一点需要考虑：桥梁施工操作步骤的强相关性，即桥梁施工操作步骤的顺序必须完全正确，否则会引起操作安全事故等。专家系统将桥梁工艺参数标准值和桥梁施工受训人员的相关三维施工操作值进行比较，两者相差越少，则桥梁施工操作步骤分越高，反之，则越低。具体代码如下所示：

```
if(OperateValue==StandardValue)
{
    Return SetValue;
}
else
{
    Calculate(OperateValue,StandardValue,StepValue) ;
}
```

其中，OperateValue 为受训人员操作值，StandardValue 为相应的操作标准值，SetValue 为相应步骤的满分值，Calculate 函数根据操作值和标准值的差值计算出相应的操作步骤分。

### 3.2 智能报警功能

在桥梁施工三维仿真培训系统中，学员由于操作失误等，导致某些施工操作数值超过报警界线，专家系统会根据系统录入的报警越界值进行判定，当超过报警界线时系统给出相应的报警。

专家评估报警系统可以根据整个三维仿真系统的不断完善和改进，不断的充实和添加评估报警标准和规则，可以同时运行多套评估报警体系，并对多个评估报警体系进行算数平均，使得评估报警更加准确和完善。

## 4 数据库构件

数据库是整个三维仿真培训系统的数据核心部分，系统的各个功能模块通过调用核心数据库的数据使其正常运行。由于桥梁施工三维仿真培训系统数据量较小，为了保证系统的流畅以及运行效率，采用 mysql 轻量级数据库进行开发，既满足系统的功能需求同时，也能保证整个三维系统的运行速度。

桥梁施工仿真数据库按功能划分，包括桥梁模型库、桥梁施工培训试题库、历史数据库以及桥梁施工培训学员操作记录库。数据库间的关系如图 6 所示。

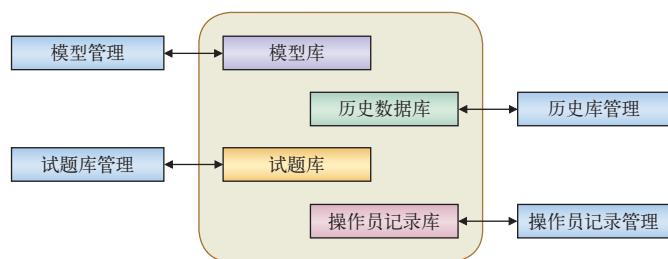


图6 仿真培训系统主要数据库及其关系

## 5 结束语

本文提出了一种基于三维仿真的桥梁施工培训系统，研究了三维虚拟场景建模过程中的场景建模，桥梁建模，环境建模等，实现了桥梁施工现场的场景制作以及在虚拟场景中的漫游功能，使培训者能够熟悉虚拟培训场景<sup>[16]</sup>，增加学员培训时的沉浸感以及交互感。利用环境效果的设置以及声音的加载技术，完善了系统的仿真功能。

该系统是一种既有效、又安全的提高施工人员技术水平的操作平台，可以实时模拟各种场景、天气以及其后的变化，满足培训学员适应多变环境的需求，降低各种费用和人为、天气因素影响，对培养高素质的桥梁施工技术人员具有重大的使用价值和现实意义。虽然该系统实现了电脑 PC 端的三维仿真模拟培训，但对于手机平板等移动端的开发还有待进一步研究。

## 参考文献：

- [1] 汤晓青，周林，栗秋华，等. 输配电线路施工仿真培训系统的设计与实现 [J]. 中国电力，2007, 4 (40) : 74-76.
- [2] 胡长涛. 塔机模拟驾驶培训系统操控仿真研究 [D]. 山东：

- 山东建筑大学, 2011.
- [3] 向阳. 基于计算机仿真技术的热轧模拟平台的设计与实现 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2013.
- [4] 付林. 永丰大厦虚拟漫游数字平台的设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [5] Ivan E.Sutherland.The Ultimate Display[J].Proceedings of IFIP Congress, 1965: 506-508.
- [6] 王浩杰. 基于虚拟现实的三维河流仿真系统 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006.
- [7] 黄志兴. 三维交互式变电站仿真系统设计 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [8] Szeliski R.Video mosaics for virtual environments[J].IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2) : 22-30.
- [9] Ehsan Arbabi, Ronan Boulic, Daniel Thalmann.Fast collision detection methods for joint surfaces[J].Journal of Biomechanics, 2009, 42(2): 91-99.
- [10] Kuan-Chen Lai, Shih-Chung Kang.Collision detection strategies for virtual construction simulation[J].Automation in Construction, 2009, 18(6): 724-736.

- [11] R Garris, R Ahlers, JE Driskell.Games, Motivation, and Learning: A research and practice model[J].Simulation & gaming, 2002, 33(4): 441-467.
- [12] 师蕾, 郝挺雷, 林筑英. 基于三维引擎的虚拟实验教学系统交互模式研究 [J]. 中国远程教育: 综合版, 2010 (8) : 70-74.
- [13] 王志乐, 于辉, 许路航. 基于 ActiveX/VegaPrime 的交互视景仿真平台封装的研究 [J]. 科学技术与工程, 2009, 9 (24) : 7387-7390.
- [14] Groza V, Cretu V, Bogoevici M, et al.Distributed virtual instrumentation architecture[C].Sensors for Industry, 2001: 177-180.
- [15] Jianwei Li, Hong Zhou, Huiqin Li, et al.Design of Humidity Monitoring System Based on Virtual Instrument[J].Procedia Engineering, 2011(24): 759-763.
- [16] 刘蕾, 鲍小龙, 牛超然. 虚拟现实技术在桥梁工程中的应用 [J]. 桥梁工程, 2010, 5 (28) : 79-81.

责任编辑 徐侃春

(上接 P13)

追踪, 需要将押运货车押运途中涉及的各相关车站的押运信息集成, 因此, 系统利用 Web Service 技术实现了跨铁路局的货物押运安全信息的集成共享, 如图 8 所示, 系统将押运受理信息、签认信息、违章记录信息等信息查询功能包装成 Web Service 并发布, 各铁路局使用者通过该 Web Service 获取跨铁路局信息, 实现全路押运信息的共享应用。

铁路货物押运安全管理的业务需求, 系统的应用, 将有助于实现押运监控与管理的信息化和智能化, 改变传统的押运管理模式和作业方式, 有效防范押运过程中的安全隐患, 提高押运工作质量和工作效率, 为铁路货运安全保障提供技术支撑。今后, 要重点开展系统的推广应用研究, 结合实际需要, 进一步完善系统, 全面发挥系统联网应用价值。

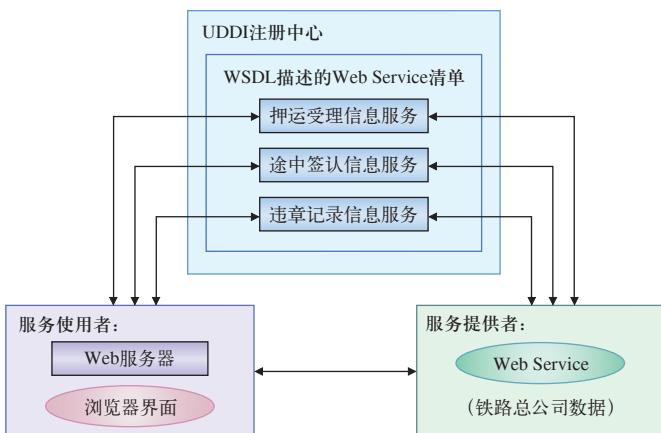


图8 铁路总公司Web Service跨铁路局信息共享方案示意图

#### 参考文献:

- 1] 中国铁路总公司. 铁总运[2014]57号 铁路危险货物运输管理暂行规定 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2014, 2.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁运[2013]56号 铁路货运安全检测监控与管理系统总体技术规范 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2013, 4.
- [3] [德] KlausFinkezeller. 射频识别技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006, 3.
- [4] 高幼年, 贺雪晨, 郑毓. 基于非接触式IC卡的信息管理系统 [J]. 现代电子技术, 2005 (16) : 49-50.

## 4 结束语

本文提出系统的技术方案和功能设计满足目前

责任编辑 徐侃春