

5-15-2020

Design of Virtual Training System for Horizontally Oriented Drill Based on Unity3D

Guojun Wen

1. School of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; ;2. Hubei Intelligent Geological Equipment Engineering Technology Research Center, Wuhan 430074, China;

Xia Yu

1. School of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; ;2. Hubei Intelligent Geological Equipment Engineering Technology Research Center, Wuhan 430074, China;

Yudan Wang

1. School of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; ;2. Hubei Intelligent Geological Equipment Engineering Technology Research Center, Wuhan 430074, China;

Zifei Hu

1. School of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; ;2. Hubei Intelligent Geological Equipment Engineering Technology Research Center, Wuhan 430074, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design of Virtual Training System for Horizontally Oriented Drill Based on Unity3D

Abstract

Abstract: Aiming at the equipment shortage, serious resource loss and hidden dangers in traditional horizontally oriented drilling rig training, a design scheme of the horizontally oriented drilling rig virtual training system based on the Unity3D is proposed. An experimental platform is built to verify the feasibility. *The solidworks, 3dsMax model construction, Unity3D software virtual animation and scene development, Rodrigues rotation matrix 3D trajectory algorithm derivation, data acquisition (DAQ), system software and hardware communication and other technical content are used in the program.* The experimental results show that the scheme is feasible, the system has the good operability and true immersion and is more convenient, cheaper and safer than the traditional training. It also improves the training efficiency of the horizontally oriented drilling rig.

Keywords

Unity3D, virtual reality, drilling rig, training teaching

Authors

Guojun Wen, Xia Yu, Yudan Wang, Zifei Hu, and Wu Dan

Recommended Citation

Wen Guojun, Xia Yu, Wang Yudan, Hu Zifei, Wu Dan. Design of Virtual Training System for Horizontally Oriented Drill Based on Unity3D[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(5): 801-807.

基于 Unity3D 的水平定向钻机虚拟实训系统设计

文国军^{1,2}, 夏雨^{1,2}, 王玉丹^{1,2}, 胡自飞^{1,2}, 吴丹^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省智能地质装备工程技术研究中心, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对传统水平定向钻机实训中存在的设备紧缺、资源损耗严重、人员安全隐患等问题, 提出了一种基于 Unity3D 的水平定向钻机虚拟实训系统设计方案, 并搭建了实验平台。该方案包括 Solidworks, 3dsMax 模型构建, Unity3D 软件虚拟动画及场景开发, 罗德里格旋转矩阵三维轨迹算法推导, 数据采集 (DAQ), 系统软硬件通信等技术内容。实验结果表明: 该方案可行, 系统具有良好的可操作性与真切的沉浸感, 比传统实训更加方便、廉价、安全, 并提高了水平定向钻机的培训效率。

关键词: Unity3D; 虚拟现实; 钻机; 实训教学

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 05-0801-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0612

Design of Virtual Training System for Horizontally Oriented Drill Based on Unity3D

Wen Guojun^{1,2}, Xia Yu^{1,2}, Wang Yudan^{1,2}, Hu Zifei^{1,2}, Wu Dan^{1,2}

(1. School of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China;

2. Hubei Intelligent Geological Equipment Engineering Technology Research Center, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at the equipment shortage, serious resource loss and hidden dangers in traditional horizontally oriented drilling rig training, a design scheme of the horizontally oriented drilling rig virtual training system based on the Unity3D is proposed. An experimental platform is built to verify the feasibility. The solidworks, 3dsMax model construction, Unity3D software virtual animation and scene development, Rodrigues rotation matrix 3D trajectory algorithm derivation, data acquisition (DAQ), system software and hardware communication and other technical content are used in the program. The experimental results show that the scheme is feasible, the system has the good operability and true immersion and is more convenient, cheaper and safer than the traditional training. It also improves the training efficiency of the horizontally oriented drilling rig.

Keywords: Unity3D; virtual reality; drilling rig; training teaching

引言

非开挖钻进技术广泛应用于城市中的电缆铺设、污水排放、天然气供应等领域。在非开挖钻进

技术中, 水平定向钻进技术最为成熟、应用最为广泛^[1]。由于传统培训方式受到设备紧缺、场地偏远等因素的限制, 因此水平定向钻机操作人员的培养效率受到严重影响, 水平定向钻机操作人员极为紧缺。针对传统培训方式所存在的诸多问题, 虚拟现实技术已被大量应用于机械设备的培训当中, 取得了良好的培训效果^[2]。利用虚拟现实技术, 韩国电子与电信研究所 Ungyeon Yang 等^[3]设计了一个沉



收稿日期: 2018-09-14 修回日期: 2018-11-16;
基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0603402);
作者简介: 文国军(1978-), 男, 四川岳池, 博士, 教授, 博导, 研究方向为工业自动化、虚拟现实、煤层气定向钻进、非开挖地下管线建设、地质灾害与环境监测等。

<http://www.china-simulation.com>

浸式立体显示平台, 一个逼真的喷漆渲染技术和直观的用户界面, 以配合真实的工作环境, 有效地克服了有毒涂料造成的空气污染、练习空间有限等问题。美国纽约州立大学 Ankur Baheti 等^[4]开发了一种双手 6DoF 虚拟现实培训系统, 通过 DVSS 系统成功获取各种腹腔镜手术所需的基本技能。巴西埃尔多拉多研究所 Eduardo H. Tanaka 等^[5]研发出了一种沉浸式虚拟变电站, 为电工培训学员提供了真实的体验, 使学员们能够在安全的环境中与设备互动, 探索设施, 进行基本和复杂的操作以恢复变电站的运行。作者所在团队十年前基于 VB 和 CortonaVRML 等开发出一种应用于水平定向钻机的虚拟现实实训系统。该系统能够帮助学员提高其熟练度, 避免了训练过程中对钻机的损坏, 并降低了培训成本^[6]。但受到当时计算机技术水平的限制, 该系统现在存在仿真效果差、沉浸感不足以及二次开发困难等问题, 亟待进一步的研究。

本文提出了一种基于 Unity3D 的水平定向钻机虚拟实训系统设计方案, 该方案具备更先进的系统模型构建方法以及钻机的虚拟仿真模拟算法, 设计出的系统能够为学员提供一个高沉浸感的虚拟钻机操作环境, 结合硬件设备能够对学员进行逼真的钻机操作教学和培训。

1 系统总体结构

水平定向钻机虚拟实训系统是一项复杂的虚拟培训系统, 该系统由软件和硬件组成, 软件分为地上和地下两大部分, 培训功能模块齐全; 硬件与软件之间通过数据采集卡实现通信, 硬件能够对软件功能模块进行实时控制。该系统的设计步骤分为以下 4 步:

step 1: 在 Solidworks 中对水平定向钻机进行建模;

step 2: 在 3dsMax 中对模型进行法线贴图 and 渲染;

step 3: 在 Unity3D 中进行实训系统软件开发;

step 4: 对系统硬件进行设计和搭建。

基于 Unity3D 的水平定向钻机虚拟实训系统设计流程如图 1 所示。

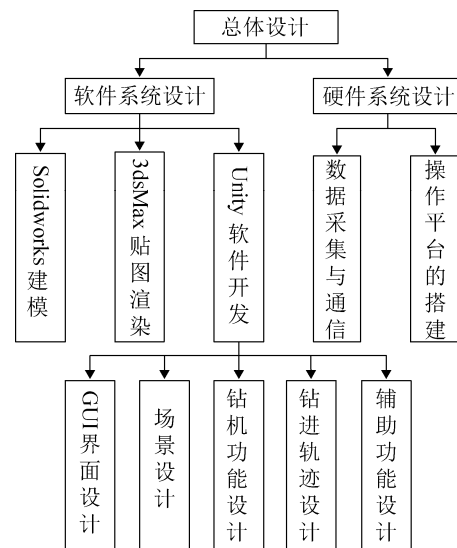


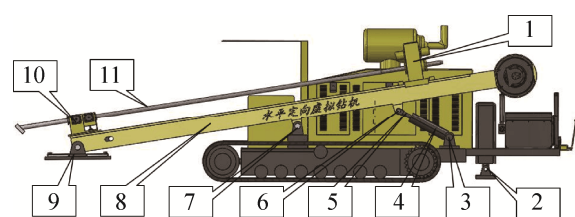
图 1 系统设计流程

Fig. 1 System design flow

2 水平定向钻机软件系统设计

2.1 Solidworks 与 3dsMax 建模

在水平定向钻机培训的过程中, 学员主要通过手柄、按钮等硬件实现对系统中的虚拟钻机进行控制, 其基本功能由系统中的虚拟钻机进行展示。本系统通过 Solidworks 中的拉伸、放样、扫描等命令对本系统中的虚拟钻机进行了建模^[7], 如图 2 所示。



注: 1 为动力头; 2 为支腿; 3 为节点 A; 4 为液压缸筒; 5 为液压缸杆; 6 为节点 B; 7 为节点 C; 8 为钻架; 9 为地锚座; 10 为夹持器; 11 为钻杆。

图 2 水平定向钻机模型

Fig. 2 Horizontally oriented drilling machine model

在 Unity3D 的软件开发中, 物体的坐标轴影响着物体的运动轨迹, 因此需要用 3dsMax 对物体坐标轴的位置和角度进行调整来匹配功能需求, 同时

3dsMax 能够生成 Unity3D 所需要的.FBX 格式模型, 将.FBX 格式模型导入 Unity 中, 能够通过程序对模型各个部件进行姿态的控制, 由此实现软件中的各个功能模块。另外, 3dsMax 具有强大的贴图 and 渲染功能, 对钻机的外观具有良好的优化效果, 图 3 所示为钻机履带贴图前后的效果图, 结合 3dsMax 的使用减小了系统软件的开发难度。

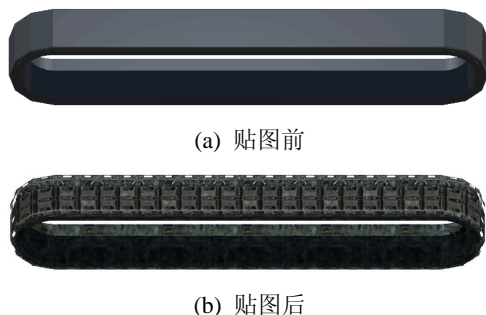


图 3 履带贴图前后效果图

Fig. 3 Track map before and after renderings

2.2 软件界面和场景设计

在实际的水平定向钻机的操作过程中, 钻机操作人员需要实时对钻机上各种仪表的数据变化进行观察, 以此保证钻机的正常工作。为了使虚拟实训系统能够满足培训要求, 系统采用 Unity3D 自带的 GUI 模块对系统软件的主界面和钻进参数界面进行了设计^[8]。在检视面板中, 采用 Panel 组件为主界面和钻进参数界面赋予相应的背景, 使用 Dropdown 组件实现了钻进面向角的选择功能。系统场景的构建在 Unity3D 中完成, 虚拟实训场景如图 4 所示。该场景为钻机学习者提供了逼真的操作环境, 减小了虚拟培训与实际培训之间的差异。

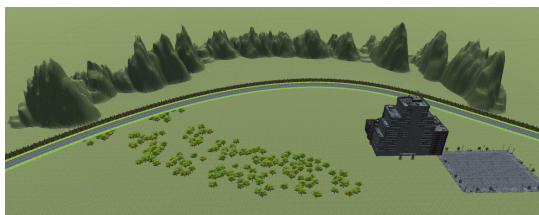


图 4 虚拟实训系统场景

Fig. 4 Virtual training system scenario

2.3 钻机功能设计

实现钻机的真实工况需要对钻机的每个动作进行相对应的模拟, 因此钻机仿真需要建立强大的逻辑动作库, 命令与动作紧密联系、环环相扣。钻机功能分地上部分、地下部分以及辅助部分。

2.3.1 钻机地上功能

在实际的水平定向钻机操作中, 控制钻机的行走是操作人员必不可少的工作内容之一。系统使用 Translate()函数和 Rotate()函数分别实现了钻机整机的平移和旋转。对钻机履带进行贴图, 通过 SetTextureOffset()函数使履带的材质发生偏移, 实现了履带的转动效果。结合钻机的整机平移、旋转和履带转动的 3 个模块, 实现了钻机的行走功能, 为钻机培训人员练习操控钻机的行走提供了良好条件。

在实际钻进过程中, 钻机钻进角度的调整由液压系统控制液压缸的伸缩使钻架绕支点 C (如图 2 所示) 旋转实现的。由于在建模的过程中模型各零件之间容易出现过盈配合的现象, 因此在 Unity3D 中通过动力学方法实现钻机钻进角度的调整十分困难。针对该问题, 本文利用三角函数推导出虚拟钻机钻进角度调整的算法, 实现了本系统虚拟钻机钻进角度调整的功能模块, 其具体实现方法为: 将图 2 中节点 A , B , C 进行连接, 构成一个联动三角形如图 5 所示。其中 AB 为节点 A , B 之间的距离, 长度会发生变化; BC 为节点 B , C 之间的距离, 长度一定且已知; AC 为节点 A , C 之间的距离, 长度一定且已知。

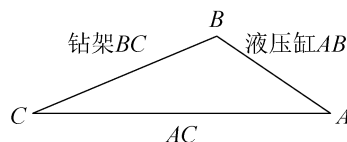


图 5 联动三角形

Fig. 5 Linked triangle

根据余弦定理, 得到 $\angle C$ 与 $\angle A$ 的关系如式(1)所示:

$$\angle A = \arcsin \frac{BC \times \sin \angle C}{\sqrt{BC^2 + AC^2 - 2 \times BC \times AC \times \cos \angle C}} \quad (1)$$

当钻架绕节点 C 转动时, $\angle C$ 大小发生变化且大小已知, 根据以上关系式可以计算出 $\angle A$ 的大小, 由此可以得出液压缸与钻架之间的联动算法, 将算法运用到 Unity3D 中即可实现虚拟钻机钻进角度调整功能。

由于在水平定向钻进的工程中, 其钻进深度少则几十米, 多则几千米, 因此一根钻杆根本无法满足实际的钻进要求。为了实现虚拟钻机能够连续上下钻杆的功能, 系统定义了一个 DrillName[i] 数组, 将 Unity3D 层次面板中的钻杆对象赋到 DrillName[i] 数组中, 通过 DrillName[i] 为钻杆对象进行排序, 结合 MoveTowards() 函数实现了无序上、下钻杆的功能。无序上、下钻杆的实现流程如图 6 所示。

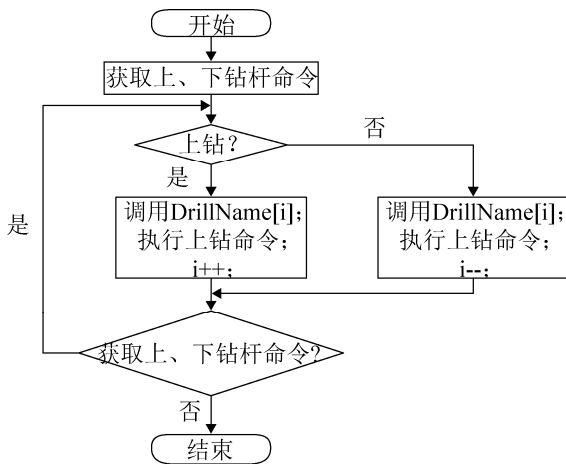


图 6 无序上、下钻杆实现流程

Fig. 6 Disordered upper and lower drill pipe realization process

系统通过 Translate() 函数依次实现了夹持器的夹持运动、动力头在钻架上的移动以及支腿的伸缩; 通过 OnTriggerEnter() 函数对夹持器、动力头以及支腿进行了限位, 防止夹持器、动力头以及支腿超出移动范围; 通过 Rotate() 函数实现了夹持器的卸扣功能以及钻杆的正反转功能。

2.3.2 钻进轨迹设计

在导向钻进中, 钻具面向角是一个重要的钻进

参数, 其影响着整个钻进轨迹的走向。钻头的轴线与斜掌面法线所构成的平面称为走向面, 走向面与钻进轨迹铅垂面所成的角度称为钻具面向角 α , 图 7 为钻具面向角 α 的示意图。

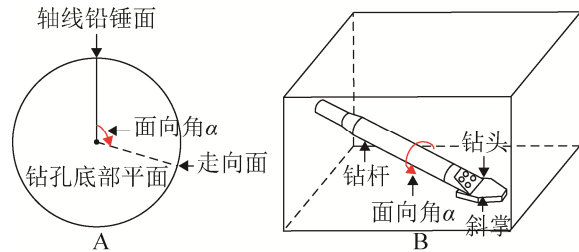


图 7 钻具面向角的示意图

Fig. 7 Angle profile of drill

钻进轨迹的内容分为保直和导向两个部分, 假设 M' 为钻头在平面上运动的一点, 其坐标为 (X_0', Y_0', Z_0') , N' 为钻头初始轴线与钻进一段长度后的轴线交点, 其坐标为 (X_1', Y_1', Z_1') , M, N 分别为 M' 和 N' 通过罗德里格旋转矩阵依次绕 X 轴旋转 α 角、绕 Y 轴旋转 β_0 角、绕 Z 轴旋转 γ_0 角得到, 变换后 M, N 的坐标分别为 (X_0, Y_0, Z_0) 和 (X_1, Y_1, Z_1) , 钻进轨迹计算模型如图 8 所示。其中, 轨迹矩阵旋转公式(2)为:

$$M = M' \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta_0 & 0 & \sin \beta_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta_0 & 0 & \cos \beta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 & -\sin \gamma_0 & 0 \\ \sin \gamma_0 & \cos \gamma_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

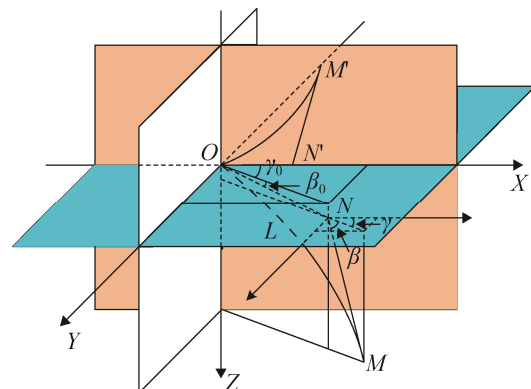


图 8 钻进轨迹计算模型

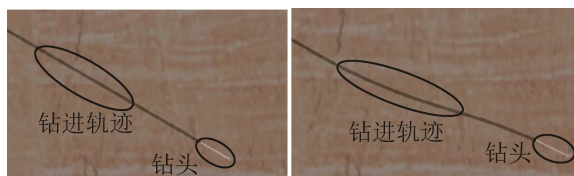
Fig. 8 Drilling trajectory calculation model

由于 Unity 中的坐标系是左手坐标系, 因此, 将变换后的点 Y, Z 坐标相互交换即可得到 M 点坐标, 结合公式(2)与钻进轨迹计算模型可以推导出改进后的钻进轨迹^[9]计算公式(3)~(4)如下:

$$\begin{cases} X_0 = Z_0'(\cos \alpha \sin \beta_0 \cos \gamma_0 + \sin \alpha \sin \gamma_0) + X_0' \cos \beta_0 \cos \gamma_0 \\ Z_0 = Z_0'(\cos \alpha \sin \beta_0 \sin \gamma_0 - \sin \alpha \cos \gamma_0) + X_0' \cos \beta_0 \sin \gamma_0 \\ Y_0 = Z_0' \cos \alpha \cos \beta_0 - X_0 \sin \beta_0 \\ \beta = \arcsin\left(\frac{-|Y_0 - Y_1|}{\sqrt{(Y_0 - Y_1)^2 + (X_0 - X_1)^2}}\right) \\ \gamma = \arctan\left(\frac{-|Z_0 - Z_1|}{|X_0 - X_1|}\right) \end{cases} \quad (4)$$

式中: α 为钻具面向角; β_0, γ_0 分别为初始位置的钻进倾角和钻进偏角; β, γ 分别为钻进后的钻进倾角和钻进偏角。

系统软件结合三维轨迹算法, 成功模拟出地下三维钻进轨迹, 对钻机培训人员能力的提升具有显著作用, 地下钻进三维轨迹如图 9 所示。



(a) 保直轨迹 (b) 保直-导向轨迹

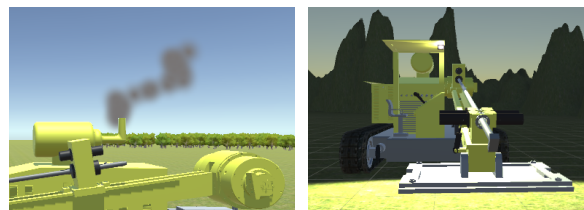
图 9 地下钻进三维轨迹

Fig. 9 Drilling into 3D trajectory

2.3.3 辅助功能设计

系统利用 Unity3D 中的粒子和光源模块分别实现了钻机工作时的烟雾效果和灯光模拟效果如图 10 所示。在 Particle System 组件中设置粒子的大小、单位时间发射的数量、发射速度以及消失时间等参数实现静态烟雾效果, 将粒子模拟坐标改为世界坐标并将层次面板中的 Particle System 放入钻机烟囱模型文件夹下作为子物体, 当钻机移动时即可模拟出相应的烟雾效果。系统的灯光模拟功能由光源组件下的点光源和聚光灯光源两个模块联合

实现, 其中点光源光照范围设置在灯罩以内, 实现灯罩的遮光效果; 设置聚光灯的聚光角度和照射距离, 使光线沿灯罩口射出并照亮场景中的实物模型, 即可实现灯光模拟效果。



(a) 烟雾效果 (b) 灯光效果

图 10 辅助功能模拟图

Fig. 10 Auxiliary function simulation

3 水平定向钻机硬件系统设计

3.1 数据采集与通信

系统通过上位机给数据采集卡发送通信协议, 数据采集卡接收到通信协议后返回电压信号到上位机, 上位机对返回的电压信号进行解析, 对解析的电压信号值的大小进行判断, 以此识别硬件中按钮及手柄的状态, 当接通电源并对手柄和按钮进行操作时, 系统软件功能模块即可做出实时响应^[10]。本系统通信结构如图 11 所示。

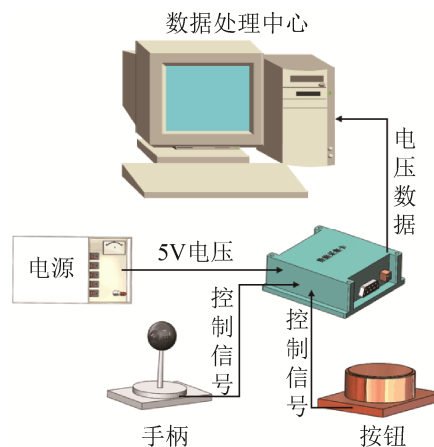


图 11 系统通信结构

Fig. 11 System communication structure

3.2 操作平台的搭建

按照实际水平定向钻机操作平台的尺寸大小,

本系统在 Solidworks 中对钻机操作平台进行了建模并导出三维模型的 CAD 图, 通过 AutoCAD 对导出的图形进行了修改并打印出图纸, 根据图纸对本系统的操作平台进行了机械加工, 虚拟实训系统实物如图 12 所示。



图 12 虚拟实训系统实物
Fig. 12 Virtual training system

4 系统测试结果

为了验证该系统是否满足水平定向钻机培训要求, 作者邀请了地质装备相关专业的 20 名学生以及 5 位老师对该系统各个功能模块进行了测试。系统的主要测试指标分为:

- (1) 系统功能模块的完整性;
- (2) 系统软件画面的流畅性;
- (3) 系统的交互性;
- (4) 系统的稳定性。

经过 20 名学生及 5 位老师的共同测试与交流表明, 该系统功能模块完整, 在操作钻机模型进行钻进时, 钻进模型能够实时响应操纵杆和按钮的指令, 没有停顿感, 画面比较流畅, 具有较强的交互性能, 系统稳定性较高, 在进行模拟地下导向钻进的过程中, 钻头能够按照预期的钻进轨迹进行导向钻进, 系统的逼真度得到了参与测试的老师和同学们的一致认可, 该系统测试结果如表 1 所示。

表 1 系统测试结果

测试指标	良好	一般	差	/%
功能模块完整性	100	0	0	
系统画面流畅性	92	8	0	
系统的交互性	96	4	0	
系统的稳定性	96	4	0	
系统的逼真度	100	0	0	

5 结论

采用 Unity3D 对实训系统软件内容进行设计, 该系统软件具有界面友善、功能齐全、可操作性强、能够进行二次开发等优点, 其功能模块严格遵循实际钻机功能要求而设计。本系统通过数据采集卡进行电压数据采集, 实现了软、硬件的结合, 使实训系统更加接近实际实训系统, 为水平定向钻机操作人员提供了良好的培训平台。

参考文献:

- [1] 吴奇兵. 非开挖技术在市政公用设施建设中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2006, 6(1): 165-168.
Wu Qibing. Application of trenchless technology in the construction of municipal public facilities[J]. Urban Road Bridge and Flood Control, 2006, 6(1): 165-168.
- [2] 王远明, 贾倩, 卢宽, 等. 基于 Unigine 的舰载航空视景仿真技术研究[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(9): 87-92.
Wang Yuanming, Jia Qian, Lu Kuan, et al. Research on Shipborne Aviation Visual Simulation Technology Based on Unigine[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(9): 87-92.
- [3] Yang U, Lee G A, Shin S, et al. Virtual Reality based Paint Spray Training System[C]. IEEE Virtual Reality Conference. USA: IEEE, 2007: 289-290.
- [4] Babeti A, Seshadri S, Kumar A, et al. Virtual Reality Robotic Surgical Simulator for the da Vinci Surgical System[C]. Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator System. USA: IEEE, 2008: 479-480.
- [5] Tanaka E H, Paludo J A, Bacchetti R, et al. Immersive Virtual Training for Substation Electricians[C]. IEEE Virtual Reality. USA: IEEE, 2017: 451-452.
- [6] Wen G J, Xu L X, Chen H, et al. Horizontal Directional Drill Rig Operating Training System based on Virtual

- Reality Technology[C]. 2009 Trenchless Technology & Pipelines International Conference. USA: EI, 2009: 1093-1103.
- [7] 王俊兰, 昊义忠, 熊会元, 等. 纯电动汽车整车建模仿真研究[J]. 计算机仿真, 2015, 32(10): 190-195.
Wang Junlan, Hao Yizhong, Xiong Huiyuan, et al. Research on Modeling and Simulation of Pure Electric Vehicles[J]. Computer Simulation, 2015, 32(10): 190-195.
- [8] 周荣花, 卢继华. 数字通信实验软件平台的 GUI 设计与实现[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(5): 74-77.
Zhou Ronghua, Lu Jihua. GUI Design and Implementation of Digital Communication Experiment Software Platform[J]. Experimental technology and management, 2013, 30(5): 74-77.
- [9] 钮洪亮. 非开挖导向钻进轨迹三维优化设计研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2008, 5: 33-35.
Niu Hongliang. Research on 3D Optimization Design of Non-excavation Guided Drilling Trajectory[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2008, 5: 33-35.
- [10] 王晨辉. 基于 STM32 的多通道数据采集系统设计[J]. 测控技术与仪器仪表, 2016, 42(1): 51-53.
Wang Chenghui. Design of Multi-channel Data Acquisition System Based on STM32[J]. Measurement and control technology and instrumentation, 2016, 42(1): 51-53.