

# 煤矿智能开采技术虚拟仿真教学系统设计与应用

杨浩宇 尚秀全 李瑞华 张军 刘帅  
神木职业技术学院, 中国·陕西 神木 719300

**摘要:** 针对目前煤矿智能开采技术生产工艺流程复杂、井下安全隐患多、生产设备操作复杂以及学生参与度低等教学痛点入手, 鉴于煤矿行业的高能耗、高风险以及事故不可逆的特性, 应用 Unity3D 和 Visual Studio C# 设计了矿山虚拟仿真技术与生产业务深度融合, 模拟真实矿井生产场景, 打造虚实结合、立体可视、人机交互式的仿真实训基地, 探索解决“进不去、看不见、动不了、难再现”的专业教学难题, 创建了学习、漫游、考评一体化的实验平台, 将“互联网+”概念应用到特色实验教学中去, 结合传统实验教学, 探索了一种新型实验教学和考核模式, 克服了教学手段缺乏改革创新、学生学习兴趣不高、优质教学资源匮乏等问题。

**关键词:** 虚实结合; 人机交互; 考评一体; “互联网+”

## Design and Application of Virtual Simulation Teaching System of Intelligent Mining Technology in Coal Mine

Haoyu Yang Xiuquan Shang Ruihua Li Jun Zhang Shuai Liu  
Shenmu Vocational & Technical College, Shenmu, Shaanxi, 719300, China

**Abstract:** In view of the current teaching pain points of complex intelligent coal mine production process, many underground safety risks, complex operation of production equipment and low student participation, given the high energy consumption, high risk and irreversible nature of the coal mine industry, using Unity3D and Visual Studio C #, we designed the deep integration of mine virtual simulation technology and production business, simulated the real mine production scene, create a virtual and real combination, three-dimensional visual, human-computer interactive imitation real training base, explore and solve the professional teaching problems of “not enter, invisible, not move, difficult to reproduce”, creating an experimental platform integrating learning, roaming and evaluation, applying the concept of “Internet +” to the characteristic experimental teaching, combined with the traditional experimental teaching, exploring a new type of experimental teaching and assessment model, it overcomes the problems of lack of reform and innovation of teaching means, students’ low interest in learning and lack of high-quality teaching resources.

**Keywords:** combination of virtual and real; human-computer interaction; integrated evaluation; “Internet+”

### 0 前言

煤炭是中国的主要能源, 在中国能源消耗结构中, 煤炭占 60% 以上。在今后相当长的历史时期内, 煤炭仍将是中国的能源支柱产业。榆林能源矿产资源富集一地, 被誉为“中国的科威特”。有世界七大煤田之一的神府煤田, 有中国陆上探明的最大整装气田——陕甘宁气田。煤矿智能开采技术专业是培养学生具备智能化开采工艺应用、智能采掘机械使用维护与管理等能力, 具有工匠精神和信息素养, 能够从事智能化工作面采掘施工、智能化采掘生产组织、智能通风技术管理、智能开采安全管理等工作的高素质技术技能人才。鉴于煤矿行业的高能耗、高风险以及事故不可逆的特性, 通过 VR 虚拟仿真模拟真实矿井生产场景, 打造虚实结合、立体可视、人机交互式的仿真实训基地, 探索解决“进不去、看不见、动不了、难再现”的专业教学难题。矿井虚拟生产系统仿真实验教学系统的研发是为学生建立开放式实验教

学环境, 使学生通过“互联网+”实现虚拟生产、灾害防治等实验资源的完全共享, 在三维场景中自由体验和探索, 实现人机互动, 并且学生能够自行检验学习效果, 不受时间、空间和实验条件的限制, 实现教学资源的最大化共享。

### 1 系统开发流程

#### 1.1 技术方法

通过对中国智能化采煤工作面的实际环境、设备、工艺流程进行调研, 获取详尽的第一手资料, 以此为依据进行系统设计与开发, 开发中根据所表现内容的不同, 分别采用数字建模、数字动画、三维交互、虚拟现实等多种方式实现。

##### 1.1.1 3DS MAX 数字建模技术

采用 3DS MAX 技术为系统中的设备及仪器建立有效的虚拟环境, 将实物搬进教材, 将理论知识与实际生产结合起来, 通过鼠标就可实现设备操作、故障维护检修等操作。

建立有效的虚拟环境,主要集中在两个方面:一是用虚拟环境精确表示物体的状态模型;二是环境的可视化表示即渲染出的景象。强调影像的原因在于目前学习者通过网络进行虚拟实验,其主要的信息获取途径来自视觉。

在虚拟实境的开发中,三维模型的精确建立发挥着至关重要的作用。高仿真度的三维模型可以真实再现场景,仪器外观甚至内部结构,给学习者以良好的沉浸感,获得如同甚至超过真实实验环境中的学习感受和体验。仿真程度恰当的三维模型有利于虚拟实训发挥出更大的教学优势。

照明技术是三维虚拟仿真技术的重中之重,本系统将采用全局光照明技术,提高光斑特效的表现范围,如光斑、电弧等。采用体积光技术,表现机械装置的照明设备对环境的影响。运用光能传递和光线追踪技术。

Radiosity(光能传递)是一种能够真实模拟光线在环境中相互作用的全局照明的渲染技术,它能够重建自然光在场景物体上的反射,从而实现更为真实和精确的照明效果。LightTracer(光线追踪)在场景中进行点采样并计算光线的反射,从而创建较逼真的照明效果。

采用法线贴图技术处理仿真软件中的CG动画渲染,将具有高细节的模型通过映射烘焙出法线贴图,贴在低端模型的法线贴图通道上,使之拥有高细节模型的效果的同时,还可以大大降低面数和计算内容,加载速度快,图片容量小。

### 1.1.1.2 Unity3D 引擎技术

Unity3D是由Unity Technologies开发的一个能够轻松创建诸如三维视频游戏、建筑可视化、实时三维动画等类型互动内容的多平台的综合型游戏开发工具,是一个全面整合的专业游戏引擎。Unity3D的是一个屡获殊荣的工具,用于创建交互式3D应用程序在多个平台。Unity3D由游戏引擎和编辑器。该引擎包含的软件组件,是在游戏的研究与开发中最常见的和经常性的任务。引擎所涵盖的主题包括声音、图形、物理和网络功能。该引擎支持C#, Boo和JavaScript脚本编程。

①主要模块。最重要的模块和子系统及其关系网络。

②MVC Pattern(MVC模式)。Unity引擎的设计鼓励MVC(模型—视图—控制器)面向对象开发。

模型包含了所有的对象,组件和数据文件,对物体的渲染器和摄像机对象的访问。视图呈现模型和主要管理Unity3D的引擎渲染,访问模型的3D模型,纹理,材质和效果。它还具有输入选项的影响,控制器接收用户输入并用模型对象上的方法反应。

③The Abstract Factory Pattern 抽象工厂模式。

抽象工厂模式保护客户从不同的平台上实现相同的概念,不同的APC与平台是抽象为Abstract Product类。这些类表示一个概念,支持所有的抽象工厂平台。一个类声明创建单一产品的经营,Concrete Factory类代表一个特定的平台。

④Input and Persistent Data 输入和持久性数据。

主要有两个方面,不同的实施要求是输入机制和对持久性数据的使用。所有平台得到了他们对于自己的能力和自己的实施,支持的文件格式。为了保持可读性和灵活性采用以下适应跨平台的输入处理的抽象工厂模式。

⑤图形用户界面(UI)技术嵌入的关键。

VR的关键是交互功能,它是联系学习者操作与视觉的纽带,是VR实现冲击视觉效果的核心功能。设计良好的交互不仅能吸引学习者的注意力,而且还为记忆新知识、掌握新技能创造良好的条件,交互一般可以通过界面上的菜单、按钮、功能键、文本输入框等方式来实现。交互功能的设计要遵循以下基本规则:

友好性。交互界面设计要友好,简单易学,方便操作。

灵活性。指系统能用不同的交互方式去完成某一特定目标,不局限于单一的工具。

可靠性。交互设计的可靠性是指系统正常(无故障)工作的能力。交互系统应使用户能正确地使用系统,保证有关程序和数据的安全。

有效的反馈。反馈就是要返回与活动相关的信息(如已执行了什么动作,完成了些什么等),当用户仿真操作时可以实时的与虚拟世界进行交互。

### 1.1.1.3 VR 虚拟现实技术

VR虚拟现实技术利用电脑模拟产生一个三维空间的虚拟世界,提供用户关于视觉等感官的模拟,让用户感觉仿佛身历其境,可以及时、没有限制地观察三维空间内的事物。

人之所以能够看到立体的景物,是因为我们的双眼可以各自独立看东西,左右两眼有间距,造成两眼的视角有些细微的差别,而这样的差别会让两眼个别看到的景物有一点点的位移。而左眼与右眼图像的差异称为视差,人类的大脑很巧妙地将两眼的图像融合,产生出有空间感的立体视觉效果在大脑中。

依据以上原理,VR设备左右眼分屏显示不同角度的画面,产生3D视觉,实现原理与3D眼镜类似。

从技术的角度来说,虚拟现实系统具有下面三个基本特征:即三个“I”——Immersion、Interaction、Imagination(沉浸—交互—构想),它强调了在虚拟系统中的人的主导作用。从过去人只能从计算机系统的外部去观测处理的结果,到人能够沉浸到计算机系统所创建的环境中,从过去人只能通过键盘、鼠标与计算环境中的单维数字信息发生作用,到人能够用多种传感器与多维信息的环境发生交互作用;从过去的人只能以定量计算为主的结果中启发从而加深对事物的认识,到人有可能从定性和定量综合集成的环境中得到感知和理性的认识从而深化概念和萌发新意。

### 1.1.1.4 VR 虚拟现实多人协同算法

系统采用多人协同交互技术,以世界最顶尖的Unity3D引擎作为底层框架体系,基于Unity3D-VR场景、网络通讯、数据同步、轨迹自动生成、交互控制、实时语音沟通等底层

技术的编码、采集和融合，以及实时位置同步、实时语音同步和实时图像同步等关键技术的重大突破，真正打破了距离限制，实现了基于广域网的异地、多人协调能力。位于不同物理空间的多人可同时进入同一个 VR 场景，进行语音对话、物品交互及各种行为互动，具有多维的真实感和沉浸感，实现了通过 VR 连接人和人、人和场景的目的（见图 1）。

系统内部接口基于 Unity 3D Game Play 底层框架技术体系，各个子系统统一基于 Game Play 框架进行数据采集、

逻辑处理、消息路由和适配，实现系统架构的松耦合。系统之间的接口和协议存在差异，协议类型主要涉及 Soap、TCP/UDP、FTP 三类协议，通过 Game Play 底层框架的服务端总线作为统一的数据传输纽带，使管理逻辑和控制逻辑相互独立，便于模块设计和定制的独立演变。系统外部接口用来实现第三方业务系统的同步管理，实现服务和数据适配的交互能力，支持主流的接口协议，如 Socket、JMS、Http+Xmk、Webservice、JDBC 和 ODBC 等标准协议接口。

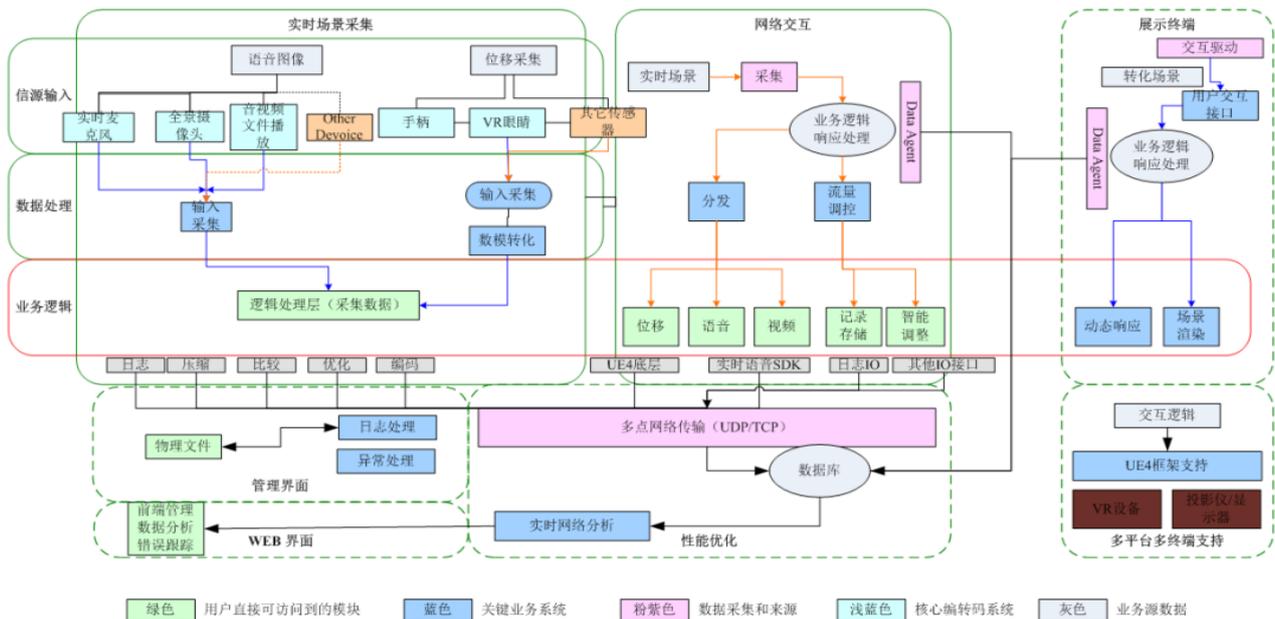


图 1 VR 多人协同交互技术框架图

### 1.1.5 多人协同作业关键算法

#### ①位移补偿。

交互过程中，场景中各种角色的运动变化产生的实时信息，主要包括位移和动作等数据，需要同步到每一个接入端并且尽量保持统一。在主导角色在主导端发生较大变化时，其他的终端中的代理角色由于传送延迟，位置信息会出现幻影、丢失等情况。根据业务逻辑的需求，要在代理端根据不同的情景，用合理的数学模型去匹配，动态的设定运动速度和加速度，以及运动路线轨迹，使得代理角色在非主导的终端上，虽然可能面临随时发生的延迟和数据丢失，依然能够比较完美的实现动作和位移的连续性，用较优的补偿机制实现场景中的各种角色动作的平滑展现。

#### ②纹理分析算法。

抽取出一般应用于纹理处理中的两个常见的过滤算法：线性过滤和各向异性过滤。线性过滤能够提供更好的渲染效果，当前像素点的颜色通过使用周围（包括垂直和水平方向上）带有纹理像素的点的颜色值进行插值计算得到。先用 u 方向上两个临近的像素进行插值再用 v 方向上两个临近的值进行特定的插值算法从而计算出最终结果，使得显示效果更

平滑。

各向异性用来处理当模型表面以十分倾斜的角度朝向摄像机而造成的纹理变形。各向异性过滤减少了变形并提升了渲染效果。此过滤算法需要消耗一定的 GPU 运算，但所产生的效果较好，以改善由于纹理变形带来的视觉失真。

### 1.2 技术路线

①按照项目计划及需求开发与管理过程要求，在项目概念阶段，对项目的总体执行情况进行策划，结合需求搜集现场资料及数据。

②执行关键技术研究，对技术内容中提到的所有关键技术在充分研究的基础上，编写技术预研报告，确定整个项目的技术方案。

③运用前期研究结果，对虚拟现实智慧矿山职工培训系统进行详细设计，形成系统设计文件。

④依据详细设计进行系统开发，形成不同功能模块的工程文件。

⑤进行单元测试、集成测试、系统测试，验证产品。

⑥执行研发过程中的配置管理及其他质量保证活动。

## 2 系统功能设计与实现

### 2.1 主要研究内容

#### 2.1.1 智慧矿山工作场景建模研究

根据智慧矿山职工培训需求,结合虚拟现实技术的需要,以曹家滩矿作为原型矿井,构建智慧矿山工作场景。

#### 2.1.2 智慧矿山职工培训虚拟现实交互系统开发研究

采用三维交互开发引擎 Unity3D,结合 SteamVR 虚拟现实插件,对模型进行再次开发,实现虚拟工作面场景的可视化、可沉浸性和可交互性;Unity3D 支持面向对象程序设计语言 C#,可以通过编程实现强大的交互功能,根据用户的输入,控制三维模型位置、角度、尺寸等状态的变化,从而呈现各种动态效果;SteamVR 插件可以使 Unity3D 程序支持各类主流虚拟现实硬件设备,将传统的鼠标、键盘、显示器等输入输出设备拓展到 VR 手柄和 VR 头戴式显示器;二者结合,使学员不仅可以身临其境地观察三维场景、三维模型,还可以真正动手进行操作,从而实现通过模拟真实操作进行训练和考核的目的。

智慧矿山职工培训可视化教学资源开发研究传统的煤炭职业教育面临以下问题:培训内容枯燥,形式呆板,以文字资料为主,培训信息资源严重匮乏且质量低下,导致培训效果不理想。在理论知识培训方面,这些问题尤为突出。

VR(虚拟现实)技术作为一种多元文化科技的融合技术,恰恰能够弥补传统培训的弱点,为学员提供“沉浸式”“主动式”的培训环境,利用创新科技手段,可以大幅提升学员接受培训时的专注度和参与度,通过在虚拟场景中的学习互动,增加知识保留度。

### 2.2 应用系统设计

本系统通过指挥中心、VR 智慧生产系统培训子系统、智能采掘设备培训子系统、智能采掘工作面协同作业实训子系统、VR 灾害预演子系统和 VR 智慧矿山综合体验子系统五部分,形成“一中心+五子系统”的整体结构,对职员进行全方位的技能安全培训。

系统开发结合微软集成开发工具 Visual Studio,在 Unity3D 中实现 C# 基于 TCP、UDP 协议的网络通信,对各组成部分进行连接,使“一中心五子系统”形成一个有机的整体,通过指挥中心(即管理端、教师端)对各子系统实现

集中控制与数据汇总,满足培训单位对培训、考核过程进行管理的实际需要,开发出实用的智慧矿山职工培训系统。

## 3 结语

计算机技术的不断发展正在颠覆传统矿山开采模式,“互联网+”矿山的模式已经成为矿山行业的主流,矿山虚拟现实技术的外延和内涵得以不断拓展。虚拟现实矿山系统可以融入物联网、信息智能、数值仿真、BIM 等多项技术,为矿山生产系统信息化管理、人员安全培训、灾害监测与控制及事故应急救援等提供技术支撑平台。煤矿智能化开采,是现阶段所有煤矿开采的发展目标,也是煤矿未来发展的必然趋势。“安全生产,培训先行”,构建智能化开采的培训系统也成为曹家滩矿智能化建设的重要内容之一。提出基于虚拟现实技术的智能采面职工培训系统的研究与开发,对提高现代化矿山、科学化管理矿山、矿山安全培训以及工作效率提高等具有非常重要的意义。

### 参考文献:

- [1] 蔡英男.基于数字化智能矿山系统的露天矿山采矿技术分析[J].世界有色金属,2024(14):47-49.
- [2] 李兆霖,李少波.煤炭智能采矿虚拟仿真教学研究[J].科技资讯,2023,21(11):196-199.
- [3] 李传伍.煤矿井下采矿技术存在问题及优化措施[J].内蒙古煤炭经济,2022(21):130-132.

作者简介:杨浩宇(1986-),男,中国山西朔州人,硕士,副教授,从事采矿工程及煤矿安全技术研究。

基金项目:陕西省神木职业技术学院教学改革研究项目——《煤矿智能开采技术》专业示范性虚拟仿真实验室建设的研究与实践(项目编号:JGKT202006);2023年度陕西高等职业教育教学改革研究重点项目(项目编号:23GZ031)——基于产教融合的“育训结合”煤炭类人才培养培训模式研究;陕西省中华职业教育社2024年职业教育研究课题——虚拟仿真在煤矿类专业教学中的实践与探索;榆林市教育科学2025年度立项课题,课题名称:煤矿智能开采技术专业人才培养与虚拟仿真实训基地,课题编号:YGH25011。