

基于虚拟现实和协同工作的煤矿安全培训系统

孙振明, 李梅

北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871

摘要 为改善煤矿企业安全现状、解决员工安全培训中存在的不足,研究了基于虚拟现实和协同工作的煤矿安全培训系统。探讨了虚拟现实技术及计算机支持的协同工作技术,提出了针对培训需求的技术融合方案,并设计了系统框架及功能结构。系统构建了煤矿虚拟培训场景,建立了安全培训专家知识库,并在网络环境下进行了部署应用。用户反馈信息表明:系统具有新颖性及吸引力,能够调动参训人员的积极性,可以实现多人协同培训,提升培训效果,具有一定的推广价值。

关键词 安全培训系统;虚拟现实;协同工作;专家知识库;煤矿

中国是煤炭生产、消费大国,将来很长一段时间内必然存在大量煤矿企业。虽然国有大中型煤矿企业在安全技术装备、安全培训管理等方面已有长足改善,但从近期的刘家崙煤矿重大事故、向阳区煤矿重大事故等^[1]可以看出,如何解决事故频发问题,仍然是现阶段需要重点研究、探索的内容之一。

在煤矿事故中,国内外学者对事故致因方面研究的论点几乎高度统一,人为原因是事故中的首要、关键因素^[2]。从侧面说明,现有安全培训工作仍然存在部分问题:1) 常规安全培训多采用课堂式教学,由教师进行内容讲述、文字考核,不能够让员工深刻体会、了解井下复杂多变的作业环境^[3];2) 现有培训过程不够生动、培训内容不够形象,枯燥无味导致无法调动参训人员的积极性、主动性;3) 在实际生产中,工作任务通常由多人协同完成,并非单独一个人实现,而现有培训在多人协同工作方面有所欠缺。

本文针对安全培训工作中的问题,结合虚拟现实技术及计算机支持的协同工作技术,提出了基于虚拟现实和协同工作的煤矿安全培训系统,以期进一步改善现有煤矿企业的安全培训工作,实现煤矿现代化管理和安全生产。

1 虚拟现实和协同工作

1.1 虚拟现实技术

自 Lanier 在 1989 年提出虚拟现实(virtual reality, VR)的概念以来,虚拟现实技术逐渐成为了计算机技术应用研究的热门领域。

虚拟现实技术具有沉浸性(immersion)、交互性(interaction)和构想性(imagination)的“3I”特性,利用最新计算机技术为核心,生成逼真的集视觉、听觉与触觉为一体的特定范围的虚拟环境,用户借助必要的硬件设备(如头盔显示器、立体眼镜、数据手套等)以自然的方式与虚拟环境中的客体进行交互,从而产生身临其境的感受和体验。

从虚拟现实概念提出开始,国内外专家就将其与矿山应用相结合^[4-8]。在数字煤矿中,虚拟现实系统的应用领域是方方面面的,如煤矿生产环境的风险评价、事故模拟与调查分析、生产过程的动态模拟等,在矿山安全培训^[9-12]方面也有所研究、探索,作为行业领军者的澳大利亚新南威尔士大学已开始尝试将人工智能与模糊逻辑应用到安全培训^[13]中。真正实用的煤矿虚拟现实系统是数字矿山的的一个重要环节,也是实施数字矿山战略的关键技术。

1.2 协同工作技术

在现代社会中,传统的孤立的工作方式已无法满足信息时代人们的需求,信息共享和人与人之间的合作越来越重要。计算机支持的协同工作^[14](computer supported cooperation work, CSCW)最早由美国 MIT 的 Greif 和 DEC 公司的 Cashman 两位研究人员在 1984 年提出。经过多年的发展,已形成一门新的交叉学科,逐渐应用到各个领域。

CSCW 的基本含义是在计算机技术支持的环境中,一个群体协作完成一项共同的任务。它包括协同工作系统的建设、群体工作方式的研究及支持群体工作的相关技术研究、应用系统的开发等部分。按照工作时间、地点的不同,可以

收稿日期:2016-03-07;修回日期:2016-03-24

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05040-005)

作者简介:孙振明,博士后,研究方向为数字矿山及 GIS 在矿山领域的应用,电子信箱:asunnytiger@163.com

引用格式:孙振明,李梅.基于虚拟现实和协同工作的煤矿安全培训系统[J].科技导报,2016,34(9):102-107;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.09.013

包含同时同地、同时异地、异时同地和异时异地 4 种工作形式。与之对应,计算机支持的协同工作同样也可以从时间和空间上分为同步模式、分布式同步模式、异步模式和分布式异步模式 4 种模式^[15],如表 1 所示。

表 1 时空矩阵
Table 1 Matrix of time and space

空间	时间	
	同时	异时
同地	同步	异步
异地	分布式同步	分布式异步

1.3 虚拟现实和协同工作的融合

随着计算机技术、网络技术的发展,已有相关学者^[16,17]针对虚拟现实技术与 CSCW 技术结合进行了研究,但尚未有人对相关技术应用到煤矿安全培训中进行探索。而虚拟现实技术和协同工作技术的优点,能够完善前述煤矿安全培训工作中的不足,因此,本文将虚拟现实和协同工作技术融合,进行了新型煤矿安全培训系统的设计与研究。

针对煤矿安全培训需要,虚拟现实和协同工作技术融合的思路如图 1 所示。

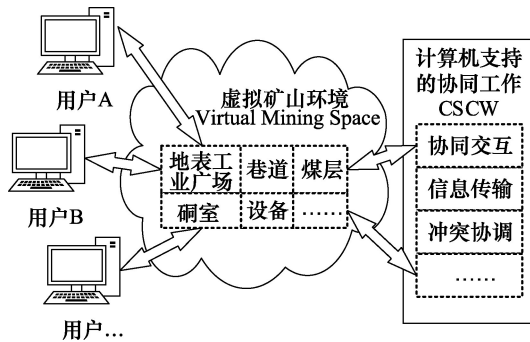


图 1 虚拟现实和协同工作技术融合思路

Fig. 1 Technology integration of VR and CSCW

利用虚拟现实技术构建煤矿地表工业广场、井下巷道、煤层、硐室、设备等虚拟矿山环境,形成安全培训系统的基础平台,为系统提供空间管理、碰撞检测、场景构造等多种基础功能。构建的虚拟煤矿空间是一个可以用于共享的、趋近于真实环境的培训场景,受训用户可以在场景内进行人与设备、人与人的交互、沟通。相比于传统培训方式,虚拟矿山环境内容更加丰富、形象,方式更加自然、和谐。

CSCW 技术形成了多人协作的保障,构建了安全培训系统的纽带,为系统提供了协同交互、信息传输、冲突协调等多种服务。利用 CSCW 技术,多名用户能够同时在系统内自由操作,按照实际生产中的工作流程进行安全培训工作。如回采工作面安全培训过程中,支架工、采煤机工等人员协同进行移架、推溜、采煤机启停等一系列操作流程的培训。

2 系统框架及功能设计

2.1 系统框架设计

综合虚拟现实、CSCW 技术特点与煤矿安全培训需求,基于虚拟现实和协同工作的煤矿安全培训系统框架设计如图 2 所示。

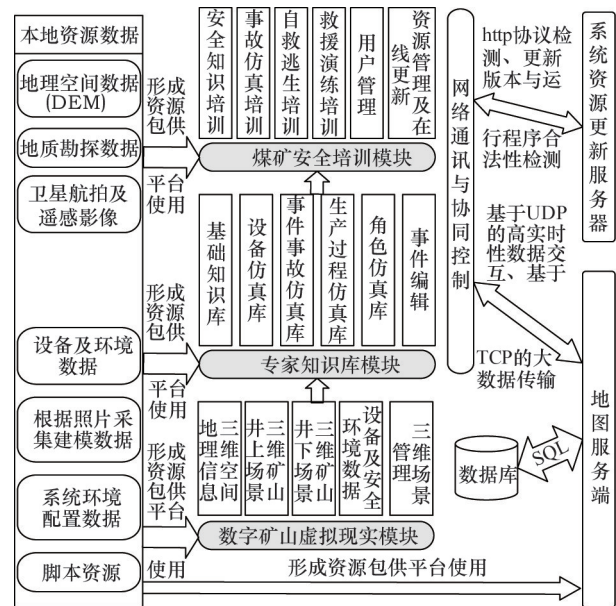


图 2 系统框架设计

Fig. 2 Frame design of safety training system

系统采用客户端/服务端的总体架构模式。

服务端包含用户操作信息、系统更新资源及培训地图服务等内容,实现协同操作的信息共享、数据资源的协同管理及系统数据的在线更新。

客户端以数字矿山虚拟现实模块为基础,利用地理空间数据、地质勘探数据、设备环境数据、建模数据等,构建基础的安全培训三维场景;整理归纳煤矿安全培训中的基础知识、设备仿真、事件事故仿真等内容,形成专家知识库;在虚拟现实平台与专家知识库基础上,构建具有安全知识培训、事故仿真培训、自救逃生培训等功能的煤矿安全培训模块。

2.2 功能设计

系统功能结构如图 3 所示,主要分为客户端、服务端两部分内容。

1) 服务端。

服务端功能主要包括协同控制、资源更新服务、地图服务 3 部分内容。

协同控制基于 CSCW 技术原理,在服务端对用户操作信息、对象信息等数据进行交换、控制;资源更新服务为客户端提供应用程序更新、数据资源更新等服务,保证所有客户端运行相同且最新的程序和资源版本;地图服务主要为客户端提供当前安全培训的地图信息,如当前是回采工作面培训还是采掘工作面培训,并检测客户端地图信息的一致性。

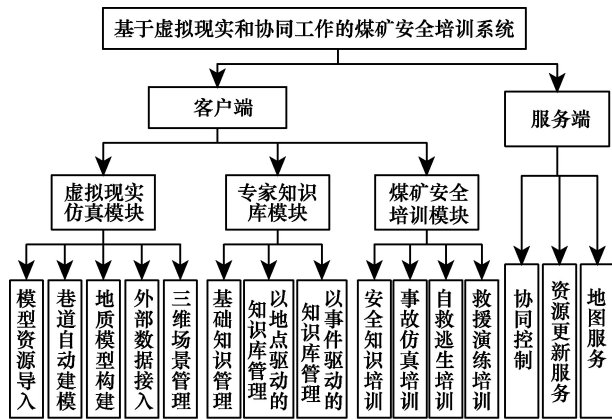


图3 系统功能结构

Fig. 3 Functional modules of the system

2) 客户端。

客户端功能主要包括虚拟现实仿真模块、专家知识库模块、煤矿安全培训模块3部分内容。

虚拟现实仿真模块包括模型资源导入、巷道自动建模、地质模型构建、外部数据接入、三维场景管理等功能。模型资源导入功能允许用户导入3Ds Max等工具创建的设备、建筑等精细模型；巷道自动建模功能利用测量数据，自动构建井下巷道场景；地质模型构建功能利用地质数据自动构建煤层、采空区、积水区等地质要素；外部数据接入功能为用户提供接入设备真实数据、瓦斯等监测监控数据的接口，使用户在培训过程中内更加真实的了解工作现场内容；三维场景管理功能提供综合场景创建、修改、保存等基本功能。

专家知识库模块包括基础知识管理、以地点驱动的知识库管理、以事件驱动的知识库管理等功能。基础知识管理包含了安全培训过程中政策、法律、法规等需要员工掌握的常规内容；以地点驱动的知识库管理包含了员工在培训过程中，不同地点需要开展的不同工作，如在瓦斯巡检过程中，要求在特定位置进行瓦斯监测；以事件驱动的知识库管理包含了开展某项工作过程中，需要完成的一系列任务，同时保留了任务之间的逻辑关系，后续任务的开展需要前续任务所对应事件的完成。

煤矿安全培训模块主要包括安全知识培训、事故仿真培训、自救逃生培训、救援演练培训等功能。安全知识培训功

能采用传统题目问答形式，对法律、法规等基础知识进行培训教学；事故仿真培训功能包含近些年发生的典型安全事故案例，动态展示事故发展过程并且分析事故原因；自救逃生培训功能包含水灾、火灾、瓦斯事故、顶板事故、机电事故的隐患识别、灾害处置等内容；救援演练培训功能包含应急救援流程、防灭火技术、灾后系统恢复、灭火设备操作、医疗急救等内容。

3 系统实现与应用

本文在北京龙软科技股份有限公司的三维虚拟仿真平台基础上，对上述系统功能进行了研究，实现了矿山虚拟场景的构建、协同工作网络控制模式、安全培训专家知识库的建立等核心内容，并将其应用到了实际项目应用中。

3.1 矿山虚拟场景的构建

矿山虚拟场景^[18]的构建是指根据煤矿地层数据、巷道数据、钻孔数据等三维空间地理信息及建筑图像、设备图像等各类数据，构建三维矿山井上、井下场景中的模型，模拟出包括煤矿各种自然实体和人工实体在内的三维空间，同时接入设备、环境数据等内容，使用户在其中可以自由地与各种虚拟实体进行交互，并了解井下真实的环境信息。按照模型构建类型的不同，可以划分为静态模型、动态模型两类。

1) 静态模型。

主要包括地表建筑、井下设备等形态固定不变的物体模型。该类物体模型多采用3Ds Max、Maya等专业建模软件，依据采集的建筑图像、设备图像进行人工制作。静态模型制作过程中，按照先精细模型后简单模型的设计方式进行模型构建，并进行纹理贴图。同时，系统运行过程中，利用多细节层次(levels of detail, LOD)技术，依据展示环境进行资源动态调配，提高系统运行效率。

2) 动态模型。

主要包括巷道、煤层、标志层、采空区、积水区等地测数据构建的模型。利用地测数据，通过模型构建算法，系统自动构建对应的物体模型。随着煤矿回采工作的进展，相关数据更新之后，系统自动更新对应模型，以准确模拟现场生产环境^[19]。

最终构建的矿山虚拟场景如图4所示。

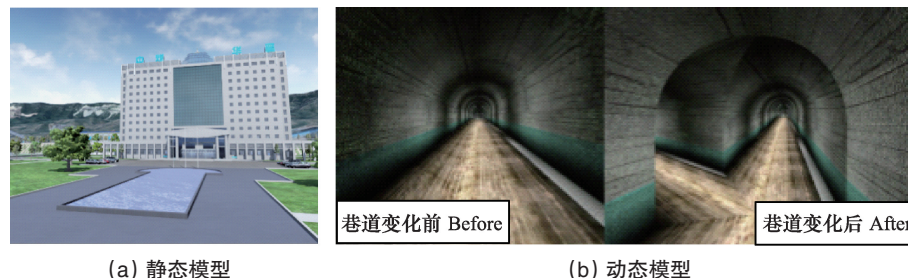


图4 矿山虚拟场景

Fig. 4 Virtual mining space

3.2 安全培训专家知识库的建立

在煤矿安全培训专家知识库中,知识内容多来自于法律法规、规程标准、历史经验等,属于陈述型的知识。本文采用成熟的产生式表示法(也称产生式规则表示法)构建系统的知识规则库。产生式的描述形式为“条件→结果”式,同时有置信度约束,即:

$$R = \text{if } P \text{ then } Q, CF$$

其中, R 代表知识规则; P 为前提条件,可以是简单条件,也可以是一系列逻辑构成的条件; Q 为依据条件所产生的结果; CF 为置信度 Certainty Factor,取值范围为0~1,对于确定事项可不考虑置信度。

按照条件类型的不同,本文将知识库的建立分为了基础知识库、以地点驱动的知识库、以事件驱动的知识库3大类。

1) 基础知识库的建立。

基础知识库内容多来自与法律、法规、规程、标准等,具有明确的知识规则,一般不用描述置信度。在培训过程中,采用直接问答形式进行员工培训。

例如,依据《煤矿安全规程》中“所有矿井必须装备矿井安全监控系统”要求,形成基础知识库规则为: $R=\text{if}(\text{有矿井安全监控系统})\text{then}(\text{合格})$,且该规则无需置信度描述。

2) 以地点驱动的知识库建立。

在煤矿生产工作中,存在大量知识规则与地点有很强的关联性,构建以地点驱动的知识库,能够让用户将规则与地点更紧密的关联。系统运行过程中,自动检测当前用户所处区域位置,存在对应知识规则时,对用户进行信息提示。

例如,依据《煤矿安全规程》中“开工前,班组长必须对工作面安全情况进行检查,确认无危险后,方准人员进入工作面”的要求,形成地点驱动的知识库规则为: $R=\text{if}(\text{工作面区域})\text{then}(\text{提示相关要求})$, CF 为1(即该规则可信度100%)。

3) 以事件驱动的知识库建立。

在生成过程中,随着时间的推演,有大量事件发生,且事件之间是关联有序的。因此,本文提出了构建以事件驱动的知识库,并细分为简单事件和系列逻辑事件驱动两种类型。

简单事件驱动的知识规则中前提条件 P 是单个或者几个独立事件构成,无需复杂的逻辑关联判断即可形成结论。例如,依据《煤矿安全规程》中“采煤机停止工作或检修时,必须切断电源,并打开其磁力起动器的隔离开关”要求,形成事件驱动的知识库规则为: $R=\text{采煤机}:\text{if}(\text{停止工作 OR 检修})\text{then}(\text{切断电源 and 打开磁力起动器的隔离开关})$, CF 同样为1。

逻辑事件驱动的知识规则中前提条件 P 是有一系列事件构成,且事件直接存在逻辑关联。如在火灾事故应急救援过程中,判断灭火成功的知识规则包含接警出动、战前检查、灾区侦查、医疗救护、火灾处理等一系列前提条件。

3.3 协同工作网络及控制模式

1) 网络通信环境。

系统采用了客户端/服务端模式架构,需要进行客户端与服务端的数据网络实现。常用的网络传输协议有TCP(trans-

mission control protocol)和UDP(user datagram protocol)两种。

TCP提供IP环境下的数据可靠传输,提供的服务包括数据流传送、可靠性、有效流控、全双工操作和多路复用等,是面向连接、端到端和可靠的数据包发送。UDP是面向非连接的协议,不与对方建立连接,而是直接就把数据包发送过去,适用于一次只传送少量数据、对可靠性要求不高的应用环境。

因此,系统采用基于UDP的高时效性数据交互,如用户所处场景位置、采煤机运行过程状态等;采用基于TCP的大数据传输,如软件版本的更新、启动地图的下载等。

2) 控制模式。

服务端决定系统运行关键状态,客户端进行交互及状态模拟,因此,系统运行的控制模式为:服务端是实现多用户协同工作的控制机构,同时利用专家知识库的内容进行操作判断,如培训启停、权限仲裁、数据分发等;客户端利用从服务端获取到的数据,模拟当前系统运行状态,可进行场景漫游、事件触发、状态模拟等功能。

3) 协同培训流程。

基于协同工作的培训流程为:确定培训项目→选定培训场景→指定培训人员→实施培训计划→分析评估培训效果。与传统培训不同,在培训过程中,需要培训人员互相协作才能够准确完成培训考核项目。下面以综采工作面人员培训考核为例说明。

转载机司机打开转载机机头的喷雾后,需在操作台前听取刮板输送机司机发来的开机信号。刮板输送机司机解除工作面刮板输送机的闭锁,向转载机司机发出开动刮板输送机的信号后,打开机头喷雾装置,启动刮板输送机。考评系统自动记录培训人员的相关操作,刮板输送机司机开动前,如未向转载机司机发出信号,刮板输送机司机扣15分,发了两次后如未得到回复,转载机司机扣5分。

协同培训中的关键技术为上文所述对场景中协作信息的网络传递、操作状态的获取及利用专家知识库对行为的判断。

3.4 系统部署与应用

系统部署在采用多台高性能计算机组建的局域网环境中,最终实现多人协同培训的效果。多个用户通过客户端登陆之后,系统显示管理员所配置的地图信息,在场景内,用户可以自由漫游,并根据提示进行安全培训(图5)。

图5展示了采煤机工与支架工协同工作培训的场景,支架工的场景中显示了操作支架的相关命令按钮。在培训过程中,割煤与移架工作必须配合作业,割煤过后位置,支架工需要快速移架跟进,当拉架速度跟不上割煤速度时,采煤机必须停机等待,避免长时间大面积空顶。

系统的部署应用,能够使用户在培训时达到身临其境的效果,充分调动参训用户的积极性、主动性,达到事半功倍的效果。

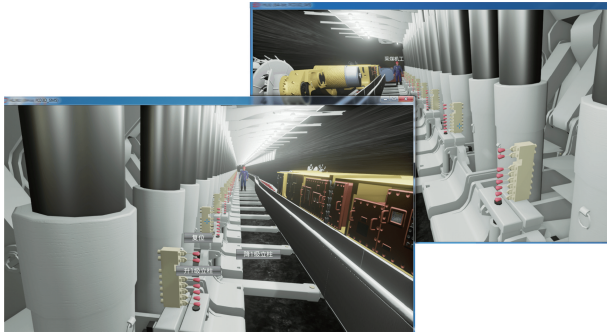


图5 采煤机工(右上)与支架工(左下)协同培训

Fig. 5 Cooperation work of shearer driver (top right) and timberman (bottom left)

4 结论

针对煤矿安全培训现状与不足,提出了利用虚拟现实技术与协同工作技术相融合,构建新型安全培训系统的思路,并对系统框架及功能进行了设计。在三维虚拟仿真平台基础之上,对矿山虚拟场景搭建、安全培训专家知识库、协同网络及控制模式等关键内容进行实现。

系统应用到了实际项目中,收到了用户的好评。相关单位对系统参观之后,多数表示了合作的意向,证明该系统满足现在煤矿安全培训工作的需求,有一定的推广价值。同时需要指出,由于虚拟现实及协同工作技术难度大,导致应用系统制作成本较高,在后续研究中需要进一步解决。

参考文献(References)

[1] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局. 政府网站事故查询系统[EB/OL]. 2016-01-06. [2016-03-07]. <http://media.chinasafety.gov.cn:8090/iSystem/shigumain.jsp>.
State Administration of Work Safety, State Administration of Coal Mine Safety. Accident inquiry system of the government [EB/OL]. 2016-01-06. [2016-03-07]. <http://media.chinasafety.gov.cn:8090/iSystem/shigumain.jsp>.

[2] 陈红, 祁慧, 谭慧. 中国煤矿重大瓦斯爆炸事故中的人因及度量[J]. 科技导报, 2005, 23(10): 41-44.
Chen Hong, Qi Hui, Tan Hui. Human factors and measurements in coalmine fatal gas explosion accidents in China[J]. Science & Technology Review, 2005, 23(10): 41-44.

[3] 蒋旭刚, 杨俊燕, 李杜风. 我国煤矿安全培训体系构建及发展趋势探讨[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(1): 116-119.
Jiang Xugang, Yang Junyan, Li Dufeng. Discussion on construction and development trend of coal mine safety training system in our country[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2015, 42(1): 116-119.

[4] Orr T J, Mallet L G, Klein K A. Enhanced fire escape training for mine workers using virtual reality simulation[C]// SME Annual Meeting and Exhibit and CMA's 111th National Western Mining Conference 2009. Denver, CO, United States: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2009: 793-796.

[5] Schofield D, Denby B, McClarnon D. Computer graphics and virtual reality in the mining industry[J]. Mining Magazine, 1994, 171(5): 284-286.

[6] Bise C J. Virtual reality: Emerging technology for training of miners[J]. Mining Engineering, 1997, 49(1): 37-41.

[7] 鞠茂盛, 史辉, 李昕, 等. 煤矿虚拟现实系统设计与实现[J]. 矿业快报, 2006(7): 19-20.
Ju Maosheng, Shi Hui, Li Xin, et al. Designing and realizing of coal mine virtual reality system[J]. Express Information of Mining Industry, 2006(7): 19-20.

[8] 王履华, 孙在宏, 吴长彬, 等. 基于 Unity3D 的数字矿山虚拟现实系统建设研究[J]. 矿业研究与开发, 2014, 34(1): 98-101.
Wang Lvhu, Sun Zaihong, Wu Changbin, et al. Study on the construction of virtual reality system for digital mine based on Unity3D[J]. Mining Research and Development, 2014, 34(1): 98-101.

[9] 刘屹, 胡凌凤, 谭章禄. 基于虚拟现实的煤矿可视化安全培训研究[J]. 中国煤炭, 2015, 41(6): 79-83.
Liu Yi, Hu Lingfeng, Tan Zhanglu. Research on visualization safety training of coal mine based on virtual reality[J]. China Coal, 2015, 41(6): 79-83.

[10] 洪玉玲. 基于虚拟现实的煤矿事故仿真和安全培训系统[J]. 煤矿安全, 2013, 44(8): 96-98.
Hong Yuling. Coal mine accident simulation and safety training system based on virtual reality technology[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(8): 96-98.

[11] 白笠言, 张红岩. 虚拟仿真技术在煤矿机电安全培训系统中的应用[J]. 通信电源技术, 2012, 29(4): 85-86.
Bai Liyan, Zhang Hongyan. Application of virtual simulation technology in coalmine electrical and mechanical safety training[J]. Telecom Power Technology, 2012, 29(4): 85-86.

[12] 王兵建, 张盛, 张亚伟, 等. 虚拟现实技术在煤矿安全培训中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(5): 65-67.
Wang Bingjian, Zhang Sheng, Zhang Yawei, et al. Application of virtual reality technology in coal mine safety training[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(5): 65-67.

[13] Mitra R, Saydam S. Can artificial intelligence and fuzzy logic be integrated into virtual reality applications in mining?[J]. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2014, 114(12): 1009-1016.

[14] 宋海刚, 陈学广. 计算机支持的协同工作(CSCW)发展述评[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(1): 7-11.
Song Haigang, Chen Xueguang. Research and analysis of the development of CSCW[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 40(1): 7-11.

[15] Penichet V M R, Marin I, Gallud J A, et al. A Classification Method for CSCW Systems[J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2007, 168(SPEC. ISS.): 237-247.

[16] 许爱军, 张文金, 黄正午. 支持协同工作的 VRML 网络虚拟现实系统[J]. 计算机仿真, 2009, 26(11): 287-290.
Xu Aijun, Zhang Wenjin, Huang Zhengwu. VRML-based internet VR system for collaborative working[J]. Computer Simulation, 2009, 26(11): 287-290.

[17] 蒋丹东, 张申生, 陈璐. 分布式虚拟协同工作环境及实现方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(9): 13-16.
Jiang Dandong, Zhang Shensheng, Chen Lu. Research on distributed virtual cooperative working environment and the implementation[J]. Computer Engineering and Applications, 2002, 38(9): 13-16.

[18] 毛善君, 熊伟. 煤矿虚拟环境系统的总体设计及初步实现[J]. 煤炭学报, 2005, 30(5): 29-33.
Mao Shanjun, Xiong Wei. Design and primary implementation of coal

mine virtual environment system[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(5): 29-33.
[19] 孙振明, 毛善君, 祁和刚, 等. 煤矿三维地质模型动态修正关键技术[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 918-924.

Sun Zhenming, Mao Shanjun, Qi Hegang, et al. Dynamic correction of coal mine three-dimensional geological model[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(5): 918-924.

Coal mine safety training system based on virtual reality and collaborative work technology

SUN Zhenming, LI Mei

Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract In order to improve the safety management level of coal mine enterprises and for the safety training of employees, a coal mine safety training system based on virtual reality and cooperative work technology is built. Firstly, the virtual reality technology and the computer supported collaborative work technology are analyzed. Secondly, a technology integration is adopted based on the request of safety training. Then, the structure of the training system is designed, the virtual training scene of the coal mine is constructed, and the expert knowledge base of the safety training is established. Finally, the system is incorporated in the network environment. The feedback shows that the system is attractive and can brought into play the initiative of all the staff and workers. The training result is better by using the cooperative work in the virtual environment than by the traditional teaching in the classes.

Keywords safety training system; virtual reality; collaborative work; expert knowledge base; coal mine

(编辑 田恬)