

采用体验性游戏模型的 配电网运行仿真培训系统设计

乔卉, 龚庆武, 江传文

(武汉大学 电气工程学院, 湖北省 武汉市 430072)

Design of Experiential Gaming Model-Based Simulation Training System for Distribution Network Operation

QIAO Hui, GONG Qingwu, JIANG Chuanwen

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei Province, China)

ABSTRACT: Leading the theory of experiential learning and the idea of educational games into the development of simulation training system for distribution network operation, and by use of the theory of experiential gaming model a simulation model of distribution network operation is built. According to the experiential gaming model, training aim and features of virtual reality (VR) technology, the simulation process and functions of the 3D distribution operation simulation training system is studied and designed. In the simulation training system for distribution network operation the service-oriented architecture (SOA) is adopted, and the configuration construction of 3D scene of distribution operation and the flexible expansion of simulation application function are realized. This simulation training system can be applied to operation, maintenance and commissioning of distribution network as well as to skill training of distribution dispatchers to improve simulation training effect of distribution operators.

KEY WORDS: power distribution network; simulation training system; experiential gaming model; three-dimensional simulation

摘要: 将体验式学习理论和教育游戏理念引入配电网运行仿真培训系统的研发过程, 利用体验性游戏模型理论建立了配电网运行仿真模型。配电网运行仿真培训系统采用面向服务的体系结构, 实现了配电运行三维场景的组态式构建及仿真应用功能的灵活扩展, 可应用于配电运行、检修、调试及调度人员的技能培训, 改善了配电生产运行人员的仿真培训效果。

关键词: 配电网; 仿真培训系统; 体验性游戏模型; 三维仿真

0 引言

随着智能电网概念的提出, 作为直接面向用户的配电网的重要性日益突出, 同时也对配电运行人员的专业技能水平提出了更高要求, 而电力系统运行特点决定了不能通过直接操作实际设备进行人员培训, 因此研发配电运行仿真培训系统具有重要的现实意义。随着计算机图形图像技术的发展及计算机硬件处理能力的快速提升, 利用虚拟现实技术呈现三维仿真系统已成为仿真领域的发展趋势, 并且在电力仿真培训中得到了应用。文献[1-3]分析了基于虚拟现实技术的变电站仿真培训系统, 该系统实现了三维可视化及人机交互功能。

目前电力系统仿真培训系统的研发只强调了仿真技术的支持, 未在仿真设计中充分考虑仿真对象、培养目标、仿真手段及受训者认知规律的有机结合, 导致仿真培训系统只是简单重现生产现场和操作流程, 仿真模型过于简单, 仿真操作过程单调重复, 不能有效激发使用者的学习兴趣, 仿真培训系统的实用性和培训效果不理想。因此有必要借鉴教育学和心理学的学习及认知规律研究成果, 对仿真培训系统进行优化设计, 使之既反映生产系统运行规律、工作环境和流程, 又能体现教育培训设计理念, 促使学习者主动、积极地参与培训学习过程。

基于此, 本文将利用体验式游戏模型理论建立配电运行仿真培训系统模型, 并将配电运行仿真培训系统以三维教育游戏^[4-9]的形式实现, 以提高培训效果。

1 配电网运行仿真模型

1.1 体验性游戏模型

体验式学习理论^[5]强调学习者已有经验和当前经验的重要性，突出学习者的主动性和主体地位，鼓励学习者进行反思性学习，以上特征均与成人学习及培训的特征相吻合。因此本文将采用体验性游戏模型作为配电仿真培训系统仿真模型研究和设计的理论基础。

体验性游戏模型是结合体验学习理论、流体验概念和游戏设计理念所形成的用于设计与分析教育游戏的模型^[6]，如图1所示。

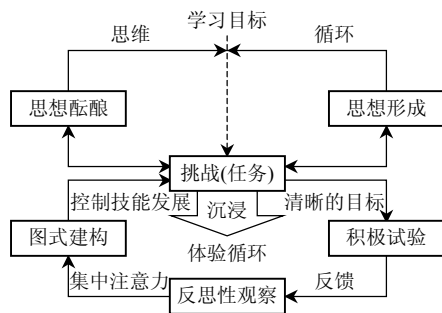


图1 体验性游戏模型
Fig. 1 Experiential gaming model

图1中，挑战和任务是模型的心脏，用于维持游戏者参与。任务设计是使游戏者能否进入流体验^[7]的关键。思维循环过程和体验循环过程为游戏体验学习的过程，强调体验学习需要的活动不仅有认知也有行为。游戏者寻求任务解决方法的过程一般可以分为思想酝酿阶段和思想形成阶段。酝酿阶段主要是创作活动，该阶段状态可认为是无结构和混乱状态。酝酿阶段后，游戏者考虑游戏世界的各种现有的条件和制约因素及可利用资源后，进一步整理方案并形成思想。思维循环过程结束后，游戏者通过体验循环过程验证解决方案，同时对验证结果进行反思性观察，并基于已有的知识结构建构图式完成任务，获得知识技能的发展^[6,8]。

1.2 配电运行仿真模型设计

系统仿真模型采用体验性游戏模型，配电运行仿真培训系统可以任务的形式体现受训人员的培训内容。系统仿真过程以受训人员选择角色和接受任务开始，如图2所示。其中，任务认知和任务辨析对应体验性游戏模型中的思维循环，体验循环通过任务体验过程来体现。

配电运行仿真培训系统中的人物角色虚拟实际生产现场的岗位角色。受训人员选择的角色决定

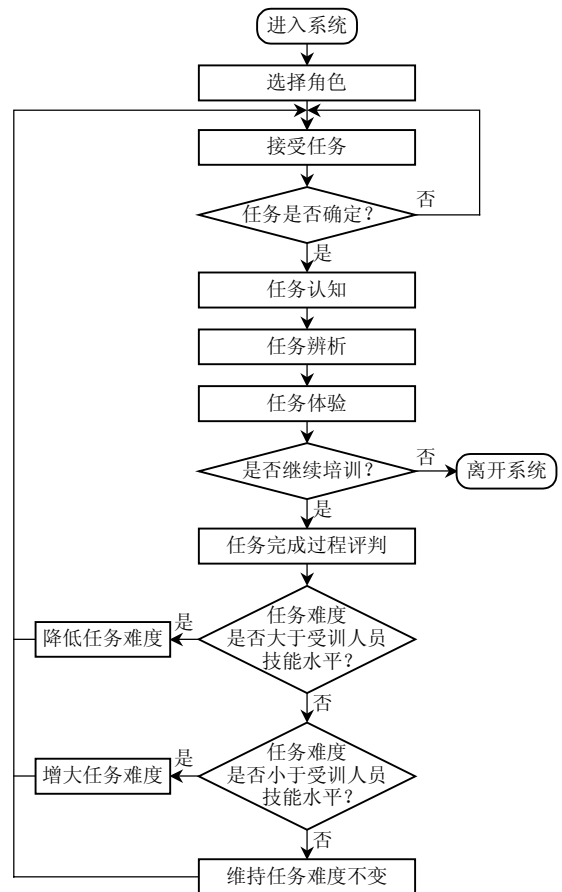


图2 系统仿真过程
Fig. 2 System simulation process

了自身认知水平的初始值，可通过角色内在属性的专业技术水平来表示，如角色可按级别设置为新进人员、班组成员、技术员、班长(运行班班长、电缆班班长、修试班班长等)、工区主任、生技部主任，其中运行班班长的专业技术水平定义为配电网线路工高级工。受训人员确定所扮演的角色后，三维仿真场景中会出现一个人物角色来模拟受训人员在虚拟配电运行现场中的动作，如图3所示。

系统首次给予的任务内容及难度与角色内在属性的初始定义相一致，受训人员可自由选择不同任务，受训人员接受任务后，系统会根据任务内容的不同，自动生成反映任务情境的三维虚拟配电运



图3 虚拟角色
Fig. 3 Virtual role

行仿真环境。

在任务认知阶段, 系统功能支持受训人员控制人物角色在三维虚拟配电运行场景中自由漫游, 以第 3 人称视角自行控制视点来感知问题情境。此时用户处于任务解决的思维酝酿过程, 用户对培训任务的理解和解决均处于模糊状态, 系统在该过程内以对白的形式对培训任务进行描述, 给予受训人员任务指示, 减少受训人员的认知难度, 引导受训人员理解所接受的任务并初步形成解决方案。

在任务辨析阶段, 受训人员仍然以第 3 人称视角对三维问题情境进行仔细观察, 通过判断虚拟现场环境或与任务相对应的设备初始状态, 依据情境和相关约束规则确定任务的完成方法, 其中配电仿真培训的约束规则主要为安全规程和电气连接约束。系统提供认知工具帮助受训人员了解任务内容和情境, 如提供小地图和电气接线图帮助受训人员明确配电系统的地理及电气连接关系, 如图 4 所示。系统还提供任务帮助功能, 以动画、视频等多媒体形式使受训人员获得任务完成的间接体验。

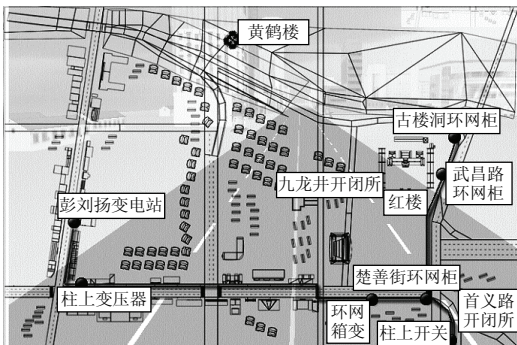


图 4 虚拟配电网连接图

Fig. 4 Connection graph of virtual distribution network

至此, 受训人员已经在思维中确定了任务的解决方案和完成过程。系统发出对话框和语音提示, 提醒仿真操作开始, 进入任务体验阶段。系统自动由第 3 人称视角转换为第 1 人称视角, 受训人员选择三维虚拟操作对象, 根据交互反应完成任务。仿真操作过程的逻辑控制依据作业规范、操作规程、电气连接约束及设备机械闭锁约束来执行。系统支持受训人员的自由操作, 允许误操作的出现和执行, 但会出现误操作的后果演示及警告说明, 并对无效操作予以提示, 如图 5 所示。仿真操作过程穿插相关技术规范及安全规程知识的考核, 促进受训人员全方位理解和掌握操作技能, 强化图式构建。

在确认进行下一个任务之前, 系统自动评判上一个任务的完成情况, 动态调整任务难易程度。受



图 5 错误操作提示

Fig. 5 Notice for error operation

训人员选择具体任务后, 可开始其他技能的培训。

1.3 任务设计与动态调整

任务是表征培训目标、学习内容的载体, 任务设计是强调基于专业知识背景和培训目标的任务内容、任务结构和任务反馈的设计^[9]。

任务内容主要是对配电运行及修试、配电实验及配调标准化作业过程的仿真, 包含工作表单和工作票填写等工作组织流程, 侧重于反映和表现操作技术规范、安全规程及配电基础理论知识。任务内容将具有电气操作必要相关性的操作对象视为一个独立仿真个体, 同时将一个独立阶段的工作组织流程也视为一个仿真个体, 仿真个体的内部仿真逻辑相对独立于整体任务逻辑。任务根据岗位级别对实操水平和理论水平的要求, 将不同的独立仿真个体进行组合, 形成不同难度层次的任务。如同样包含环网柜停电操作训练, 对于初级工, 所给的任务内容只包含对某个编号的环网柜进行停电操作; 对于中级工, 任务内容包含工作票的填写和环网柜停电操作 2 部分; 对于高级工, 任务内容中环网柜的停电操作和其他电气设备操作存在配合关系, 受训人员必须进行正确的电气分析, 确定各设备操作顺序, 并且全部正确操作完所有设备, 任务方可完成。

仿真个体的任务内容应包含程序性知识^[10]和陈述性知识。程序性知识是关于完成某项任务的行为或操作步骤的知识, 陈述性知识描述与任务体验相关的概念及规则等信息。陈述性知识通过分析和设计, 可有机融入程序性知识的仿真体验过程中。

任务结构设计为一个或多个仿真个体对象的有序集合, 同时根据任务内容将仿真个体对象的指定状态设定为关键点。受训人员一次只能激活一个任务, 当任务被激活后, 任务管理器检查每个操作, 若满足当前关键点所需状态, 则自动进入下个关键点, 直到完成全部关键点的检查, 即认为任务完成。

任务反馈主要从有效引导、积极促进受训者完

成任务的角度来设计,强调人性化、现场化的多通道人机交互方式,利用三维虚拟场景实时反馈任务完成过程的视觉信息,同时增加语音引导,增强受训人员的听觉感受,提高现场仿真的可信度。

根据 Csikszentmihalyi 心流模型^[4],任务应进行动态调整,使之与受训者的岗位技能水平及知识经验相匹配,以促进其进入流体验状态。任务动态调整通过任务管理器实现,其通过判断关键点状态记录受训人员完成任务的进程。当前任务结束后,任务管理器对所有任务的完成情况进行统计,评判受训人员的操作熟练程度,给出受训人员技能水平和当前任务难度的匹配程度。随后系统以此为依据,自动调整下一次任务难度。

2 系统主要功能

2.1 配电运行操作仿真

配电运行操作仿真包括配电地台设备操作仿真和架空线路操作仿真。架空线路操作仿真如图6所示,配电运行仿真操作在三维虚拟配电运行环境中进行,三维虚拟配电运行环境根据任务、操作设备和实际配置环境的不同实时变化。

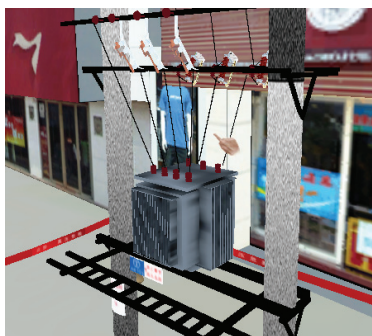


图6 架空线路操作仿真

Fig. 6 Simulation of overhead line operation

系统将三维虚拟配电运行环境分为2部分:虚拟配电网和虚拟现场环境。虚拟配电网依据实际配电网的电气及地理连接关系,利用涵盖配电系统典型接线和典型设备的简化原则,将开闭所、配电房及线路所包含配电设备的三维模型放置于相应的虚拟现场环境,形成反映电气及地理连接关系的虚拟配电网。虚拟现场环境主要模拟配电设备配置区域的自然环境,可以是城市、郊区或农村环境,可使受训人员了解配电设备在现场的配置方式和连接关系,以进行不同工况下的仿真训练。同时系统能逼真地模拟雨、雪等天气状况,使培训环境更具真实感和沉浸感。

虚拟配电网与虚拟现场环境的结合符合体验

性游戏模型强调的学习者在真实环境中进行体验活动的思想^[6],而且该结合可以模拟和包含更多的现场状况和信息,有助于受训人员对任务进行完整地认知和辨析,增强任务体验阶段的真实感受。

配电运行操作仿真培训的主要目的为使受训人员在不同工况和初始条件下能正确规范地进行现场判断和操作实际配电设备,因此虚拟配电设备应根据外观结构、操作功能和动作过程进行三维建模。虚拟配电设备操作响应过程在正常运行和事故情况下的现象(动作行为、音响、灯光、表计等)应与实际情况相符,显示界面和操作机构的外形显示方式及操作方式应与实际设备一致。线路、配电房及开闭所的继电保护装置、自动装置、测量系统及备用电源自动投入装置的动作特性、复归特性及时间特性应与实际装置一致,在正常、异常或事故情况下装置的信号、掉牌及表计的显示应与现场一致。

配电设备操作逻辑仿真利用仿真个体逻辑编辑器实现对配电设备及工器具的操作流程、操作状态及响应状态的仿真,达到了多种运行方式下设备操作状态和动作逻辑的完整性和正确性,支持受训人员在任务体验阶段的自由操作。

2.2 配电实验操作仿真

配电实验操作仿真包含绝缘电阻测量、交流耐压实验等常规配电实验操作过程的仿真,涵盖了实验仪器仪表选择及操作、实验接线、实验结果读取和实验过程判断的模拟。

根据各个环节特点,配电实验操作仿真采用二维界面和三维场景相结合的模式实现,实验接线仿真如图7所示,配电实验三维场景如图8所示。

每个实验作为一个仿真个体,可单独作为一个任务,也可根据任务及配电运行操作仿真组合形成复杂的任务。作为仿真个体,实验操作过程的逻辑仿真也可利用仿真个体逻辑模拟器实现,只是逻辑

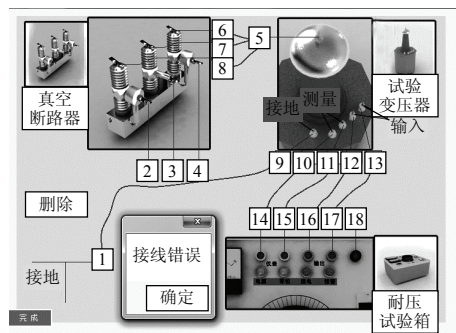


图7 配电实验接线仿真

Fig. 7 Simulation of wiring in electricity distribution test

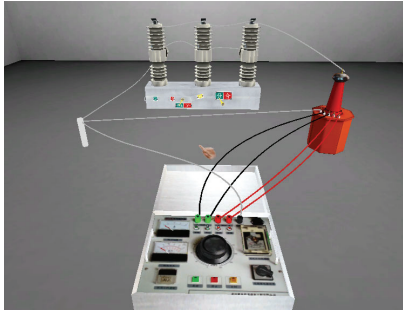


图 8 配电实验三维场景

Fig. 8 Three-dimensional scene of electricity distribution test analysis subject by the test device converted to experimental instrument.

2.3 配电网结构及运行方式仿真

配电网结构及运行方式仿真主要反映虚拟配电网的电气运行状况，实时反馈配电设备和电网运行状态变化间的相互影响，使所有虚拟配电设备实现电气连接，并使任务相关联的情境符合现场电气运行工况。

配电网结构及运行方式仿真中，根据某市 10kV 配电网的接线方式及网络参数，结合虚拟配电网拓扑关系，考虑典型配电网接线方式和运行方式后，将实际电网进行了等值简化，实现了 10kV 配电网的潮流计算和短路计算。三维虚拟配电运行场景需要实时刷新和显示，因而要求选用计算效率较高的潮流计算方法。正常情况下配电网为辐射型结构，只在联络开关倒换操作的短时间内处于弱环网状态，因此该系统选用电流前推回代法计算潮流。配电网处于弱环网状态时，可根据叠加原理将环路解环使弱环网转化为辐射网，计算辐射网潮流后可对环网支路电流进行补偿以修正潮流^[11-13]。

2.4 配电调度仿真

该系统 10 kV 虚拟配电网包含辐射型、单环网、双环网、N 供一备、多分段 N 联络等典型接线方式。根据任务内容，系统通过潮流计算和短路计算结果模拟典型工况，培训配调人员在正常检修或事故情况下对负荷转移的分析及处理能力。

配电调度仿真操作在二维配电网电气接线图界面中进行，二维电气接线图与三维虚拟场景可以切换，允许受训人员了解现场设备的动作情况。

3 系统架构

由于仿真培训系统的仿真对象及应用功能具有扩展性，同时系统仿真模型实例化的过程是反复评价和修改的过程，因而在保证实现系统功能的基础上，系统架构应保持各部分松耦合的联系，以实

现柔性仿真。因此，配电运行仿真培训系统采用面向服务的体系架构，如图 9 所示^[14-16]。

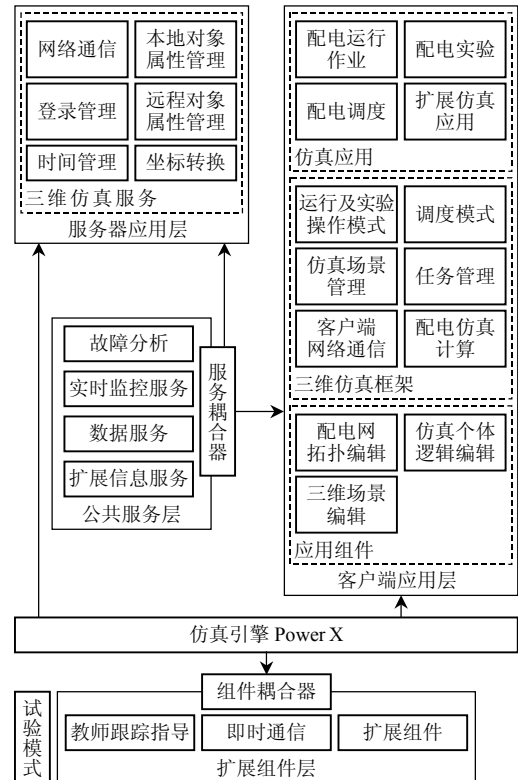


图 9 系统架构

Fig. 9 System architecture

系统可分解为以下各部分：

1) 服务器应用层。

由于电力工作通常由多部门、多工种、多人配合完成，因此，配电运行仿真培训系统允许许多客户端通过网络互连协同完成仿真培训过程。服务器应用层主要为客户端提供各种服务，包括登录管理、本地对象属性管理、远程属性管理、事件管理、坐标转换和网络通信，以保证仿真过程中共享虚拟环境的一致性，包括时间及空间的一致性、虚拟环境中仿真对象特征及行为的一致性^[17]。

2) 公共服务层。

公共服务层主要提供支持仿真运行的外围程序，包括数据的获取、管理及分析，结果的显示和保存。该层可被应用层通过服务耦合器来调用，中间发生非直接的联系，如数据服务模块封装了数据库的通用方法，使用者无需关心数据库的类型等问题，数据库的改变不会导致引用服务层的应用系统受到影响。

3) 客户端应用层。

客户端应用层采用层次化体系结构，包括仿真应用、三维仿真框架和应用组件^[15]。

仿真应用层主要实现配电运行操作、配电实验、配电调度等领域的多个仿真培训任务的仿真应用功能。

三维仿真框架是对不同仿真作业过程和方式的抽象描述,根据仿真对象特点,可分为运行、操作及调度模式。

应用组件通过封装开发应用接口,使其功能模块具有可重用性和可扩展性,同时该层提供配电网拓扑编辑、仿真个体逻辑编辑和三维场景编辑的应用组件。

配电网拓扑编辑组件实现配电网拓扑关系的图形化编辑。通过配电设备元件库,三维场景编辑组件支持用户采取即拖即用的方式构建或修改虚拟配电设备的配置方位和地理连接关系。仿真个体逻辑编辑器具有可视化编辑功能,程序代码由编辑器自动生成,具有仿真预览功能,并支持仿真逻辑的即时校验。

4) 仿真引擎 Power X。

Power X 是与具体仿真应用逻辑无关的仿真平台。Power X 具有统一处理三维场景实时渲染及管理、人机交互、仿真过程智能控制和网络通信等底层公共功能^[18-19]。

仿真过程智能控制主要保证系统仿真模型中事件结构和逻辑结构按照系统仿真过程设计方案执行。设备三维模型与动作逻辑分离,系统利用智能逻辑处理方法,利用事件作为三维虚拟环境中仿真对象间的通信方式,采用消息驱动机制实现三维模型与动作逻辑的自动关联及对象状态更新。以上处理方法优化了代码执行效率,有利于实现仿真过程的实时性,而且模型与逻辑的分离可以灵活实现配电运行三维场景的组态式构建及仿真应用功能的灵活扩展。Power X 隔离了底层硬件应用程序编程接口,实现了功能调用功能,具体仿真应用的实现只需关注应用逻辑即可。

配电运行仿真培训系统的实现需要对虚拟城市及虚拟配电网的全部电气设备进行仿真,具有仿真场景规模大、仿真对象多、操作情境复杂等特点,对仿真引擎的实时性处理能力要求较高。同时引擎要具有对复杂操作交互过程及逻辑控制的处理能力,而且为正确反映电网各连接设备间的物理变化规律,仿真引擎需要灵活地融合电力系统数值计算程序。普通的游戏引擎或虚拟现实开发平台无法满足以上要求,因此该系统使用了引擎 Power X。

5) 扩展组件层。

在 PowerX 的基础上,封装仿真应用中的常用功能形成扩展组件。扩展组件可以独立开发,只需通过组件耦合器就能被具体仿真应用逻辑使用,能够实现异构系统的整合,如即时通信组件为受训人员之间的交流提供了公共平台,教师使用跟踪指导组件可对学员提供实时操作辅导。

4 结论

本文研究了配电运行仿真培训系统的设计与开发,系统仿真模型形式新颖,更符合受训人员的认知特点和学习规律。系统采用面向服务的体系结构,通过耦合器实现各部分间的协作,为模型的重用、集成以及系统的多层抽象描述提供了条件,使系统具有广泛的适应性和扩展性。该系统实现了某城区 10 kV 配电运行培训仿真,增强了仿真培训过程的游戏体验功能,具有过程生动有趣、效果逼真、培训效果良好等特点。该 10 kV 配电运行培训仿真系统已于 2009 年 2 月投入试运行,应用效果良好,并于 2010 年 6 月通过了武汉市科技局技术鉴定。

参考文献

- [1] 龚庆武,姜芳芳,陈义飞.基于虚拟现实技术的变电站仿真培训系统[J].电网技术,2005,29(24):75-77.
Gong Qingwu, Jiang Fangfang, Chen Yifei. Virtual reality technique based substation training simulator[J]. Power System Technology, 2005, 29(24): 75-77(in Chinese).
- [2] 侯俊,李蔚清,林昌年.变电站三维交互场景仿真关键技术研究[J].电网技术,2005,29(9):70-75.
Hou Jun, Li Weiqing, Lin Changnian. Research on key technologies of three dimension interactive scene simulation for substation[J]. Power System Technology, 2005, 29(9): 70-75(in Chinese).
- [3] 杨勇波,龚庆武,查晓明.基于HLA的虚拟变电站仿真培训系统[J].系统仿真学报,2009,21(18):5760-5764.
Yang Yongbo, Gong Qingwu, Zha Xiaoming. Virtual substation operator training system based on high level architecture[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(18): 5760-5764(in Chinese).
- [4] 魏婷,李艺.国内外教育游戏设计研究综述[J].远程教育杂志,2009,192(3):67-70.
Wei Ting, Li Yi. Review of educational game design at home abroad [J]. Journal of Distance Education, 2009, 192(3): 67-70(in Chinese).
- [5] Charles L. Defining experiential education[J]. Journal of Experiential Education, 1996, 19(1): 6-7.
- [6] Kiil K. Digital game-based learning: towards an experiential gaming model[J]. Internet and Education, 2005(8): 13-24.
- [7] 万力勇,赵鸣,赵呈领.从体验性游戏学习模型的视角看教育数字游戏设计[J].中国电化教育,2006,237(10):5-8.
Wan Liyong, Zhao Ming, Zhao Chengling. Design of digital education game on the view of experiential gaming model[J]. China Educational Technology, 2006, 237(10): 5-8(in Chinese).
- [8] 翁凡亚,周湘梅.基于体验学习的教学游戏[J].中国教育信息化,

- 2007(1): 80-82.
Weng Fanya, Zhou Xiangmei. Teaching game based on experimental learning[J]. China Education Info, 2007(1): 80-82(in Chinese).
- [9] 范良辰. RPG 电子教育游戏设计模式的构建[J]. 远程教育杂志, 2008, 189(6): 71-75.
Fan Liangchen. Constructing the designing mode of educational role-playing e-game[J]. Distance Education Journal, 2008, 189(6): 71-75(in Chinese).
- [10] 冯忠良, 伍新春. 教学心理学[M]. 北京: 人民教育出版社, 2000: 289-300.
- [11] 刘伟良, 黄纯, 向为, 等. 基于叠加原理和前代后代法的环状配电网潮流计算[J]. 继电器, 2005, 33(4): 17-21.
Liu Weiliang, Huang Chun, Xiang Wei, et al. An improved power flow algorithm for meshed distribution networks based on superposition principle and forward/backward sweep method[J]. Relay, 2005, 33(4): 17-21(in Chinese).
- [12] 汪芳宗, 叶婧, 李燕山. 一种新的少环配电网潮流计算方法[J]. 电网技术, 2008, 32(1): 48-50.
Wang Fangzong, Ye Jing, Li Yanshan. A new load flow calculation method for weakly method distribution systems[J]. Power System Technology, 2008, 32(1): 48-50(in Chinese).
- [13] 刘健, 马莉, 韦力, 等. 复杂配电网潮流的降维计算[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 60-63.
Liu Jian, Ma Li, Wei Li, et al. Analysis of large scale distribution networks with reduced calculation[J]. Power System Technology, 2004, 28(8): 60-63(in Chinese).
- [14] 王磊, 万秋兰, 李群, 等. 客户变电站仿真培训系统柔性构建技术研究[J]. 电网技术, 2007, 31(1): 84-89.
Wang Lei, Wan Qiulan, Li Qun, et al. Study on flexible building technology for customer substation simulation and training system[J]. Power System Technology, 2007, 31(1): 84-89(in Chinese).
- [15] 杜新伟, 刘涤尘, 袁荣湘, 等. 虚拟继电保护柔性建模仿真系统的研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(17): 55-60.
Du Xinwei, Liu Dichen, Yuan Rongxiang, et al. Virtual protection flexible modeling and simulation system[J]. Automation of Electric Power System, 2008, 32(17): 55-60(in Chinese).
- [16] 蒲天骄, 秦军伟, 董雷, 等. 基于组件技术的自定义建模在电网仿真中的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(24): 71-75.
Pu Tianjiao, Qin Junwei, Dong Lei, et al. Application of component technology based user-defined modeling of control system in power system simulation[J]. Power System Technology, 2008, 32(24): 71-75(in Chinese).
- [17] 陈谊, 盛思源, 战守义. 分布式虚拟现实开发平台的研究与设计[J]. 计算机工程, 2002, 28(4): 36-38.
Chen Yi, Sheng Siyuan, Zhan Shouyi. Research on development tools for distributed virtual reality system[J]. Computer Engineering, 2002, 28(4): 36-38(in Chinese).
- [18] Nitschke B. Professional XNA game programming: for Xbox 360 and Windows[M]. Birmingham: Wrox, 2007: 115-146.
- [19] 苏群星. 大型复杂装备虚拟维修训练平台技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.



乔卉

系统培训仿真。

收稿日期: 2011-01-15。

作者简介:

乔卉(1977), 女, 博士研究生, 研究方向为电力系统培训仿真、电力系统运行与控制, E-mail: qiaohui@whu.edu.cn;

龚庆武(1967), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为电力系统培训仿真、电力系统运行与控制;

江传文(1984), 男, 工程师, 研究方向为电力系统培训仿真。

(编辑 徐梅)