

基于VR技术的虚拟机变电站维护系统设计研究

吴昊亭¹,林松²,肖峰¹,柯灵强²

(1. 国家电网有限公司交流建设分公司,北京 100001;

2. 北京洛斯塔科技发展有限公司,北京 100001)

摘要:虚拟机变电站的研究在众多领域中都起到重要作用,为了解决虚拟机变电站维护效率低的问题,设计了基于虚拟现实(VR)技术的虚拟机变电站维护系统。采用VR技术,建立虚拟机变电站三维运行场景,并贴图处理该场景,数字化表示变电站运行系统。针对虚拟机变电站运行系统容易发生的电力故障和信号处理问题,设计虚拟机变电站维护系统的功能模块,并利用受训人员的模拟操作,改变虚拟机变电站的网络结构并进行计算,将计算结果发送给虚拟机的保护装置,实现虚拟机变电站维护系统的设计。实验结果表明,基于VR技术的虚拟机变电站维护系统有效性高,具有较高的维护效率。

关键词:虚拟现实(VR)技术;虚拟机变电站;维护系统;功能模块

中图分类号:TM743 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd23956

Design of Virtual Machine Substation Maintenance System Based on VR Technology

WU Haoting¹, LIN Song², XIAO Feng¹, KE Lingqiang²

(1. State Grid Co., Ltd. Exchange Construction Branch, Beijing 100001; China;

2. Beijing North-star Technology Development Co., Ltd., Beijing 100001; China)

Abstract: The research of virtual machine in substation plays an important role in many fields. In view of the low maintenance efficiency of virtual machine substation, a virtual machine substation maintenance system based on virtual reality(VR) technology was designed. Using VR technology, the three-dimensional operation scene of virtual machine substation was established, and the scene was mapped and processed, and the substation operation system was represented in digital mode. Aiming at the problems that are easy to occur in the virtual machine substation operation system such as power failure and signal processing, the functional modules of the virtual machine substation maintenance system were designed. The network structure of the virtual machine substation was changed and calculated by using the simulated operation of trainees, and the calculation results were sent to the protection device of the virtual machine, so that the design of the virtual machine substation maintenance system was realized. The experimental results show that the virtual machine substation maintenance system based on VR technology has high efficiency and high maintenance efficiency.

Key words: virtual reality(VR) technology; virtual machine substation; maintenance system; functional module

当前社会不断发展,促使信息技术也在不断提升,使得变电站的复杂程度也在与日俱增。变电站设施的设计和开发是较为复杂的工程,面对众多领域和专业时,由于其知识和技术存在差异,因此当变电站产生问题时,会出现不同的认识,导致出现低质量的设计方案。而采用虚拟现实(virtual reality, VR)技术可以模拟不同虚拟场

景下的变电站问题,从而形成不同问题变电站可视化场景。针对构建的可视化场景,可以实现不同问题变电站的维护,由此解决变电站产生的问题,避免低质量变电站维护设计方案的出现。基于此,构建与真实环境相似的虚拟机变电站系统,可以为设计、决策和规划等部门提供参考依据,并且成为VR技术开发的基础^[1-2]。

基金项目:国家电网公司科技攻关项目(GKSK130034)

作者简介:吴昊亭(1977—),男,硕士,高级工程师,Email:wht_7777@163.com

VR技术是较为重要的科技技术,与计算机的系统相比,具有交互性、多感知性和沉浸感三个特征^[3]。VR技术又称之为虚拟现实技术,虚拟现实技术能模拟真实世界中的行为,及时地对用户的语言、姿态等做出反应,运用交互设备可以完成对象交换,使用户以轻松的方式与虚拟环境交互,并建立实时交互关系,生成与现实世界相似的体验。基于VR技术的虚拟机变电站维护系统是由计算机生成的虚拟机技术^[4],因此,需要对虚拟机变电站维护系统的设计进行深入研究。文献[5]提出基于内核级虚拟机(kernel-based virtual machine, KVM)技术的虚拟机变电站维护系统设计,监控虚拟机异常,调试异常状态,保护虚拟机变电站内存的安全,对虚拟机的监控进程进行系统调用,并测试虚拟机变电站的温度,完成虚拟机变电站维护系统的设计,但该方法的有效性较差。文献[6]提出基于负载预测的虚拟机变电站维护系统设计,通过预测虚拟机变电站的负荷变化,根据预测结果调度变电站,计算虚拟机变电站维护系统中的负载物理节点和比例因子,来分析系统的维护效率,实现虚拟机变电站维护系统的设计,但该方法的维护效率低。

针对上述两种研究结果存在的问题,提出并设计了一种基于VR技术的虚拟机变电站维护系统。该系统采用虚拟现实技术,建立虚拟机变电站三维运行场景,并贴图处理建立场景,数字化表示变电站运行,为虚拟机变电站维护提供视觉和交互体验。改变虚拟机变电站的网络结构并进行计算,将计算结果发送给虚拟机的保护装置,实现最终虚拟机变电站的整体维护系统设计,具有一定的有效性,能够确保温度更加稳定,有效提高运行效率,从而实现可视化虚拟机变电站维护,解决变电站不同原因产生的问题,由此提升系统维护效果。

1 基于VR技术的虚拟机变电站维护系统设计

1.1 基于VR技术的虚拟机变电站三维场景图设计

虚拟机变电站三维场景设计中,主要利用VR技术将三维和交互相结合,增强后续维护系统的可操作性,以及变电站三维场景的沉浸感,为变电站维护带来技术飞跃^[7]。利用数据库建立虚拟机变电站的模型和三维场景,根据数据库中

的建筑物高程数值,分为多个部分去构建,最后将多个部分合为一体,完成虚拟机变电站模型最初的形态,为变电站三维模型的定位奠定基础,提高虚拟机变电站维修系统的实效性^[8]。为确保基于VR技术的虚拟机变电站三维场景可以真实、有效地反映出变电站运行状态,需要对变电站的三维场景图进行贴图处理,采用材质编辑器对虚拟机变电站初始模型赋予真实的纹理,通过纹理坐标和几何图形坐标,对变电站各个面进行纹理贴图处理。贴图处理是对变电站表面的具体表示,可以显示出变电站三维场景的表面纹理,从而将变电站的运行进行数字化表示。

虚拟机变电站维护系统的运行会受贴图文件尺寸的影响,将虚拟机变电站的场景导入工程中,为虚拟机变电站的研究奠定了基础,虚拟机变电站的三维场景如图1所示。

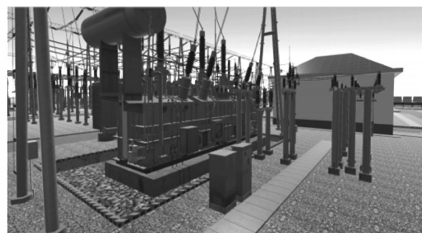


图1 虚拟机变电站的三维场景图

Fig.1 3D scene diagram of virtual machine substation

建立虚拟机变电站的三维模型后,需要对模型的各个方面做渲染处理,通过设计灯光模拟太阳光的照射,不断调节灯光的位置和亮度,获得虚拟变电站的系统贴图,可用来实现虚拟机的运行。在虚拟场景中,视角限制了观察范围,不同视角观察到的部分不同^[9],为了令视觉和运行效果达到平衡,将其进行分割,渲染的过程耗时较长,如果同时渲染多个原件,会使虚拟机变电站的维护系统崩溃,为预防工作丢失,在开始新模型呈现之前,每次呈现都需要存盘,因为虚拟机变电站维护系统在最后加载文件名时会被处理,需要检查变电站三维原件的名字,防止出现错误。

渲染结束后可以将虚拟机变电站的模型导入到变电站虚拟现实的三维场景中,导入之后,需要检查虚拟系统中的原件、破面和漏面是否出现不合理现象,出现问题则需要重新渲染,当所有原件都为正确时,则可以在变电站虚拟现实的三维场景中漫游处理。在虚拟机变电站中,通过设置交互开关,操作人员采用自由选择工作方式,漫游过程可以对整个虚拟机变电站场景进

行整体漫游,也可以独立运行。以虚拟机变电站模型为基础,构建变电站的空间坐标 (x, y, z) 以及纹理坐标 (u, v) ,分析其对应模型中每一点的 u, v 值,在三维物体上均可以呈现二维图像,构建相应的变电站空间坐标系和纹理坐标,并找出空间与屏幕坐标之间的关系,可以建立两者之间的关系,为保证纹理的输出不失真,定义纹理和屏幕大小时,要保证纹理图片和屏幕的高、宽比例一致,则有如下表达式:

$$(x_s, y_s, z_s) = [u, v] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} + (x, y, z) \quad (1)$$

式中: (x_s, y_s, z_s) 为屏幕坐标; a 为比例因子。

在发现了变电站上述坐标关系后,可以将纹理粘贴到指定区域,调节虚拟机变电站的比例因子,对变电站的维护效率进行实验,比例因子越大,系统的维护效率越高。

为使维护人员有效利用虚拟系统,需要设置数据库。根据电力系统接收的数据,合理建立数据库,接收实际需要的交互数据,输入数据的变化影响最终变电站运行效果,并对数据进行分析,完成有效、合理的虚拟机变电站维护系统设计。

1.2 功能模块设计

在构建虚拟机变电站的三维场景并将变电站表面进行具体贴图数字化表示后,设计用于虚拟机变电站维护系统中最重要的功能模块。发生电力故障的原因有很多种:变压器内部和外侧的坑槽中出现机油,或变压器的温度异常,使变压器出现故障;电压互感器和电流互感器内部温度过高,或部分线路电压过高,都会导致电压互感器和电流互感器出现故障,使整个系统发生电力故障。全面考虑变电站运行系统可能发生的电力故障和信号处理问题,为运行人员及时处理变电站故障、维护虚拟机变电站的正常运行提供了依据。据此,虚拟机变电站的维修系统模块,可以模拟变电站正常运行、故障和异常时的运行过程。在虚拟机变电站中,如果由于受训人员的模拟操作而改变虚拟机变电站的网络结构,则电力系统的软件将重新计算,并将计算结果发送给虚拟机的保护装置,由保护装置计算并正确反映出来^[10-11],呈现出虚拟机模拟操作过程与实际过程一致的效果。

虚拟机变电站维护系统的功能模块设计如图2所示。由图2可知,维护系统的功能模块主要包括以下几个模块:

1)电力系统。可输出变电站运行和其他故障情况下的电流和电压信号,以便对变电站设备、继电保护等装置进行分析。

2)信号处理。对电力系统模块输出的信号进行处理并发送到输入判断模块^[12]。

3)输入判断。利用经过处理后的信号来判断虚拟设备状态的变化,并将其变化反映给虚拟机变电站。

4)虚拟机变电站。对用户来说是可见的模块,可以直接在此模块中进行各种模拟操作。

5)输出判断。通过对虚拟机变电站模块的网络拓扑进行分析,判断其结构是否发生变化,在虚拟机变电站发生变化的情况下,电力系统模块重新计算变电站的潮流。

6)用户交互。使用该模块与虚拟机子站交互,对变电站运行进行仿真。

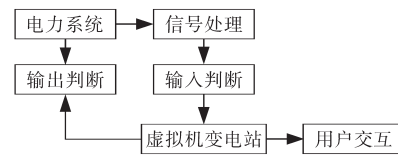


图2 功能模块图

Fig.2 Function modules diagram

分析图2可知,电力系统模块可将变电站运行和其他故障情况下的电流和电压信号传递到信号处理模块,信号处理模块将输入的电流和电压信号进行处理,传递到输入判断模块判断虚拟设备状态,并将设备状态反映给虚拟机变电站,用户通过用户交互模块与虚拟机子站交互,对变电站运行进行仿真,使用输出判断模块判断虚拟机变电站模块网络拓扑结构是否发生变化,若虚拟机变电站发生变化,电力系统模块则重新计算变电站的潮流。

对虚拟机变电站维护系统功能模块的描述,为虚拟机变电站维护系统的设计做铺垫。

1.3 虚拟机变电站维护系统总体构成

在构建了虚拟机变电站维护系统的主要功能模块后,结合包括VR外设、操作系统等,实现整体的虚拟机变电站维护系统设计。具体的系统框架如图3所示。

VR外设是虚拟机变电站交互基础,保证了虚拟机子站系统的交互性,其功能是完成系统与虚拟机外设的通信。在硬件系统中,采用高运算能力的工作站、投影系统、跟踪装置等设备,软件系统采用数字化企业的互动制造应用软件(digital

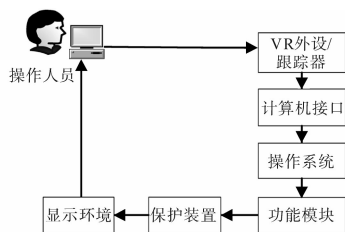


图3 系统框架图

Fig.3 System frame diagram

enterprise lean manufacturing interactive application, DELMIA)技术,分析虚拟机子站的维护与建模。其显示环境是宽2.5 m、高1.8 m的屏幕,将真实的变电站维护环境利用计算机显示在屏幕上^[13],通过对变电站的维护,需要将虚拟环境和实际环境有机地结合起来,实现VR技术的虚拟机变电站维护系统设计^[14]。

2 系统测试及分析

本文设计的维护系统采用以 Windows7 为核心的 3 GHz CPU,磁盘空间为 800 MB,软件采用 C++设计实现。为了测试本文设计系统的有效性,先对虚拟机变电站设备的温度进行测试,实验设计有 10 个变电站设备,温度在 30 ℃~35 ℃为正常有效,温度测试结果如表 1 所示。

表1 虚拟机变电站设备的温度测试对比结果

Tab.1 Comparison results of temperature test for virtual machine substation equipment

设备号	温度值/℃		
	提出方法	文献[15]方法	差值
01	32	12	20
02	33	8	25
03	30	22	8
04	31	10	21
05	35	9	26
06	35	71	36
07	34	69	35
08	35	68	33
09	32	52	20
10	32	59	27

分析表 1 可知,提出方法中,01 号~10 号虚拟机变电站设备的温度值均在 30 ℃~35 ℃范围内,均处于正常状态;文献[15]方法中,01 号虚拟机变电站设备的温度为 12 ℃,02 号设备的温度为 8 ℃,03 号~05 号变电站设备的温度值分别为 22 ℃,10 ℃和 9 ℃,分析可知前 5 个虚拟机变电站设备的温度太低,06~10 号虚拟机变电站设备的温度分别为 71 ℃,69 ℃,68 ℃,52 ℃,59 ℃,后 5 个设备的温度太高。对比得知,提出方法的虚拟机变电站的温度正常,验证了基于 VR 技术的虚拟

机变电站维护系统的有效性。因为所提方法在开始新模型呈现之前,每次呈现都需要存盘,降低了运行难度,使虚拟机变电站的温度保持正常。

在此基础上,利用虚拟机变电站的比例因子 a 对变电站的维护效率进行实验,所提方法中,比例因子越大系统的维护效率越高,实验对比结果如图 4 所示。

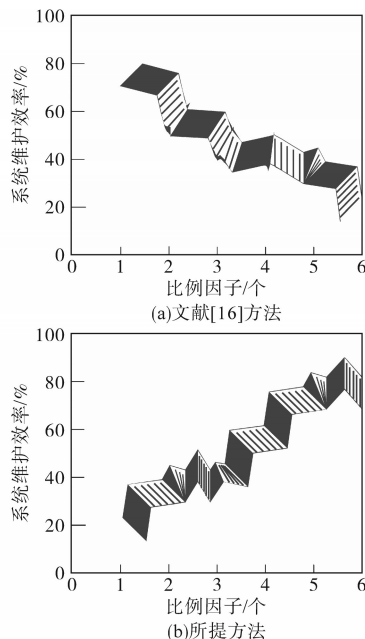


图4 虚拟机变电站的维护效率

Fig.4 Maintenance efficiency of virtual machine substation

分析图 4 可知,文献[16]方法与本文所提出方法恰恰相反,虚拟机变电站的比例因子为 1 个时,维护效率最高为 80%,当变电站比例因子为 6 个时,对应的维护效率最低下降到 20%,随着比例因子的增多,维护效率呈下降趋势。而本文所设计系统中,变电站的比例因子为 1 个时,对应的系统维护效率最高为 20%,当比例因子增加 1 个数目为 2 时,维护效率最高也随之提升到 40%,比例因子的数目增加到 4 个时,对应的系统维护效率最高为 60%,比例因子为 5 个时,维护效率最高为 80%,当比例因子的数目上升到 6 个时,对应的系统维护效率最高提升到 80% 以上,随着比例因子个数的增多,维护效率呈上升趋势。对比可知,提出方法的虚拟机变电站维护系统的维护效率更高。因为所提方法通过虚拟机变电站的维修系统模块,模拟变电站正常运行、故障和异常时的运行过程,提高了系统维护效率。

结合上述两个实验,验证了研究设计的基于 VR 技术的虚拟机变电站维护系统的有效性,并且对变电站具有较高的维护效率。

3 结论

提出了一种基于VR技术的虚拟机变电站维护系统,充分考虑虚拟机变电站的功能模块,并分析系统是否能够模拟变电站正常和异常时的操作过程。经过两组实验对比验证了基于VR技术的虚拟机变电站维护系统的有效性,并具有较高的维护效率,为虚拟机变电站的建设及维护和VR技术的发展奠定了基础。

参考文献

- [1] 郑雪娜,陶家元,王瑞雪,等.基于智能可视化管理的变电站智能监控系统设计[J].现代电子技术,2020,43(16):30-33.
ZHENG Xuena, TAO Jiayuan, WANG Ruixue, et al. Design of substation intelligent monitoring system based on intelligent visual management[J]. Modern Electronic Technology, 2020, 43(16):30-33.
- [2] 申晓杰,廖华,袁卫义.500 kV变电站集中监控模式的指挥策略及系统设计[J].科学技术与工程,2020,20(7):2740-2748.
SHEN Xiaojie, LIAO Hua, YUAN Weiyi. Command strategy and system design of centralized monitoring mode in 500 kV substation[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(7):2740-2748.
- [3] 范卫东,赵勇,沈旭珍,等.变电站监控信息接入的智能验收系统设计[J].微型电脑应用,2019,35(11):36-39.
FAN Weidong, ZHAO Yong, SHEN Xuzhen, et al. Design of intelligent acceptance system for substation monitoring information accessment of transformer substation[J]. Microcomputer Application, 2019, 35(11):36-39.
- [4] 马全福,闫敬东,康亚丽,等.基于VR技术的智能变电站混合巡检培训系统设计[J].信息技术,2021(4):64-68,74.
MA Quanfu, YAN Jingdong, KANG Yali, et al. Design of hybrid inspection training system for intelligent substation based on VR technology[J]. Information Technology, 2021(4):64-68,74.
- [5] 余劲,黄皓.VMSPY:一种自动化的虚拟机客户机系统函数截获和控制方案[J].计算机学报,2017,40(2):414-430.
YU Jin, HUANG Hao. VMSPY: an automatic guest virtual machine system function hook and control program[J]. Chinese Journal of Computers, 2017, 40(2):414-430.
- [6] 陈兴蜀,赵成,陶术松.基于KVM的Windows虚拟机用户进程防护[J].电子科技大学学报,2016,46(6):950-957.
CHEN Xingshu, ZHAO Cheng, TAO Shusong. KVM-based windows virtual machine user process protection[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2016, 46(6):950-957.
- [7] 徐德会,何志红,孙会龙,等.基于VR技术的变电站运维检修培训系统[J].办公自动化,2020,25(8):63-64,11.
XU Dehui, HE Zhihong, SUN Huilong, et al. Substation operation and maintenance training system based on VR technology [J]. Office Information, 2020, 25(8):63-64, 11.
- [8] 展鹏,陈勇,郝瑞峰,等.基于微分算法的码盘故障诊断系统及应用[J].电气传动,2020,50(3):97-101.
ZHAN Peng, CHEN Yong, HAO Ruifeng, et al. Ercoder fault diagnosis system and application based on differential algorithm [J]. Electric Drive, 2020, 50(3):97-101.
- [9] 卢志刚,郭凯,闫桂红,等.考虑需求响应虚拟机组和碳交易的含风电电力系统优化调度[J].电力系统自动化,2017,41(15):58-65.
LU Zhigang, GUO Kai, YAN Guihong, et al. Optimal dispatch of power system integrated with wind power considering virtual generator units of demand response and carbon trading[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(15):58-65.
- [10] 芦佳硕,王光华,曹磊,等.基于VR技术的电力系统异常情况巡检系统设计[J].计算技术与自动化,2021,40(1):169-173.
LU Jiashuo, WANG Guanghua, CAO Lei, et al. Design of power system abnormal inspection system based on VR technology[J]. Computing Technology and Automation, 2021, 40(1):169-173.
- [11] 吴冰,黄陈,朱喜荣.沉浸式变电站故障仿真系统开发[J].电力系统保护与控制,2017,45(21):102-108.
WU Bing, HUANG Chen, ZHU Xirong. Development of immersive substation accidents simulation system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(21):102-108.
- [12] 张志超,刘守瑞,周永强,等.基于VR技术的变电站二次回路在线监测方法研究[J].计算技术与自动化,2021,40(3):52-56.
ZHANG Zhichao, LIU Shourui, ZHOU Yongqiang, et al. Research on on-line monitoring method of substation secondary circuit based on VR technology[J]. Computing Technology and Automation, 2021, 40(3):52-56.
- [13] 唐震,吴恒,王伟,等.虚拟化环境下面向多目标优化的自适应SSD缓存系统[J].软件学报,2017,28(8):1982-1998.
TANG Zhen, WU Heng, WANG Wei, et al. Self-adaptive SSD caching system for multiobjective optimization in virtualization environment[J]. Journal of Software, 2017, 28(8):1982-1998.
- [14] 贾武军.基于GIS的110 kV变电站规划系统设计[J].科学技术创新,2021(22):62-63.
JIA Wujun. GIS-based 110 kV substation planning system design [J]. Science and Technology Innovation, 2021(22):62-63.
- [15] 杨洲,邵长坤,盛兆乐,等.基于VR技术的变电站远程可视化巡检系统[J].山东电力技术,2019,46(2):38-41,45.
YANG Zhou, SHAO Changkun, SHENG Zhaole, et al. Research of VR technology for remote visualization inspection system of substation[J]. Shandong Electric Power Technology, 2019, 46(2):38-41,45.
- [16] 张炳达,王岚禹.基于FPGA的变电站实时仿真培训系统[J].电力系统保护与控制,2017,45(6):55-61.
ZHANG Bingda, WANG Lanyu. Real-time simulation training system for substation based on FPGA[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6):55-61.

收稿日期:2021-08-30

修改稿日期:2021-11-10