



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103794109 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 14

(21) 申请号 201210431545. 9

(22) 申请日 2012. 11. 01

(71) 申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路 1239 号

(72) 发明人 李光耀 王文举 王力生

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵继明

(51) Int. Cl.

G09B 19/00 (2006. 01)

G05B 19/418 (2006. 01)

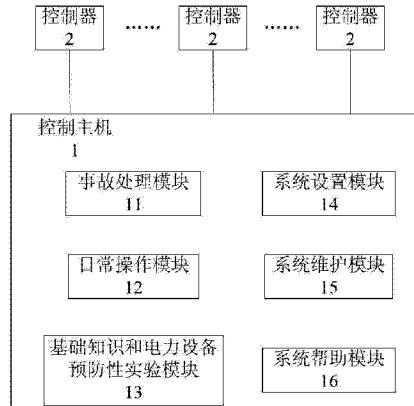
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

具有仿真培训功能的电力控制系统及其仿真培训方法

(57) 摘要

本发明涉及一种具有仿真培训功能的电力控制系统及其仿真培训方法，所述的系统包括控制主机和安装在各个电力设备上的控制器，所述的控制器与控制主机电气连接，所述的控制主机内设有事故处理模块、日常操作模块、基础知识和电力设备预防性实验模块；所述的方法包括：对所有变电站室内的电力设备实体进行精确三维建模；对生成的模型进行格式转换，然后进行 DOF 节点和 LOD 特效节点设置；对模型进行渲染，构建场景；采用纹理切换技术表示电力设备状态的变化；利用专家知识库中的知识规则判断并显示电力设备的故障状况。与现有技术相比，本发明具有实时性、可减少人员工作量、可仿真电网事故、操作方便等优点。



1. 一种具有仿真培训功能的电力控制系统,包括控制主机和安装在各个电力设备上的控制器,所述的控制器与控制主机电气连接,其特征在于,所述的控制主机内设有事故处理模块、日常操作模块、基础知识和电力设备预防性实验模块,其中,所述的事故处理模块用于仿真电力设备故障的发生及其维修操作,所述的日常操作模块用于仿真电力设备日常的检修和巡视操作,所述的基础知识和电力设备预防性实验模块用于保存电力设备的基础知识及工作原理,并对预防性实验进行动态显示。

2. 根据权利要求 1 所述的一种具有仿真培训功能的电力控制系统,其特征在于,所述的事故处理模块包括常见故障维修操作单元、设备异常维修操作单元、误操作引发故障维修操作单元和突发性事件维修操作单元。

3. 根据权利要求 1 所述的一种具有仿真培训功能的电力控制系统,其特征在于,所述的日常操作模块包括电力设备检修操作单元和设备巡视单元。

4. 根据权利要求 1 所述的一种具有仿真培训功能的电力控制系统,其特征在于,所述的控制主机内还设有系统设置模块、系统维护模块和系统帮助模块,

其中,所述的系统设置模块用于系统登陆密码的设置和修改,以及系统维护权限的划分;

所述的系统维护模块的功能包括三维模型库、场景库、专家知识库的备份和恢复,以及专家知识库知识规则的修改、编辑和添加;

所述的系统帮助模块是系统的使用指南,对系统的软硬件配置要求、具体操作使用方式和系统维护升级的方法进行具体说明。

5. 根据权利要求 4 所述的一种具有仿真培训功能的电力控制系统,其特征在于,所述的专家知识库中包括事故现象信息表、事故检查信息表和事故处理信息表。

6. 一种如权利要求 4 所述的具有仿真培训功能的电力控制系统的仿真培训方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 在控制主机中,对所有变电站室内的电力设备实体进行精确三维建模,并将其保存至三维模型库中;

2) 对生成的模型进行格式转换,然后进行 DOF 节点和 LOD 特效节点设置;

3) 对模型进行渲染,构建场景,并将场景保存至场景库中;

4) 采用纹理切换技术表示电力设备状态的变化,并对每个纹理及其替换纹理单独进行存储和管理;

5) 选择事故处理模块或日常操作模块中的一个培训案例进行仿真培训;

6) 当通过输入输出设备在控制主机上实施电力设备操作时,在某一操作任务的活动范围超出了一个场景时,控制主机将所涉及场景中包含的三维模型整体重载整合成一个新的场景,并在控制主机的显示器中显示相关电力设备的状态,并利用专家知识库中的知识规则判断并显示电力设备的故障状况;

7) 对于同一个场景内不同场地设备的状态反应,采用多通道技术对当前的场景窗口设置多个通道,其中一个通道用来在显示器上显示主操作设备所在场景并占满当前整个窗口,其它通道用于在显示器上显示待观察的设备所在场景并最小化于屏幕右上角。

7. 根据权利要求 6 所述的一种具有仿真培训功能的电力控制系统的仿真培训方法,其特征在于,所述的 DOF 节点用于表示电力设备的开关转动、柜门的拉开关闭、开关闸刀以及

仪表指针的相对运动。

8. 根据权利要求 6 所述的一种具有仿真培训功能的电力控制系统的仿真培训方法，其特征在于，所述的纹理切换是指：对于状态发生变化的电力设备，在节点处的模型不变的情况下，将该节点模型的纹理按照预先设置的替换纹理进行替换。

具有仿真培训功能的电力控制系统及其仿真培训方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电力设备的电力控制系统,尤其是涉及一种具有仿真培训功能的电力控制系统及其仿真培训方法。

背景技术

[0002] 变电站是电力设备的一个重要组成环节,是电力网中线路的连接点,其作用是变换电压、汇集和分配电能。变电站能否正常运行关系到整个电力设备的安全稳定。由于变电站的操作不允许随意进行,事故又很少发生,不能将运行的变电站当作培训工具在真实设备上进行实际操作试验,更不允许人为设置一些事故让学员观察并进行处理,运行人员难以在变电站的正常操作和事故处理中得到充分的训练。一旦事故来临,因运行人员见得不多,往往手忙脚乱。不知所措,常常因处理不当,造成事故扩大。

[0003] 传统的培训方法是书本讲授、师傅传授和在图纸或模拟板上进行练习和进行模拟演习,虽然都起了一定的作用,但因缺乏真实感和深度,培训效果不佳。为了提高运行人员素质和处理事故的能力,同时也为培训即将走向工作岗位的电力系统专业学员,使学员能够得到各种各样的模拟培训,熟悉变电站的各种运行状况,提高专业水平,尽快掌握各种基本操作,需要建立一种电力控制系统,在实现电力控制的同时,还能够提供模拟的操作环境。

[0004] 仿真技术已经成为变电运行人员控制电力设备并进行相关训练的有效手段。采用仿真技术制造培训仿真机对电力行业运行人员培训,在国外 20 世纪 60 年代就开始研制并投入使用。首先是核电培训仿真机,20 世纪 70 年代由核电转向火电,开始主要集中在火电厂机组,之后相继扩展到电网、变电站的仿真培训。国外 70 年代就出现了实用的火电仿真系统,1971 年美国、日本和英国分别安装了第一套大容量的火电培训仿真机,1977 美国 CDC 公司开发出了第一套电网仿真系统,70 年代日本关西电力公司建立了变电站仿真系统。

[0005] 我国于 1982 年研制成功了第一套火电仿真机组,期间电网调度仿真机和变电站仿真机也在开发,1986 华能国际电力开发公司在大连电力学校建造一个电厂培训中心,是以大连海湾电厂一号机组为仿真对象;1991 年由清华大学和东北电力调度通信局合作研制的我国第一台 DTS——东北电网调度员培训仿真系统,到 1999 年大多数的网调、省调都使用了电网调度仿真器材。

[0006] 变电站仿真培训系统的提出虽然已经有了一段时间,但由于电力系统中变电站的数目众多,而且早期变电站容量不大,自动化水平较低,其运行操作的要求也不高,使得变电站仿真培训系统的作用没有得到充分体现。随着我国经济建设的飞速发展,电网规模不断扩大,电网的结构日益复杂,高电压等级、先进的自动化设备的变电站不断投入运行,使得变电站对运行人员的技术水平提出了更高的要求,因此从 90 年代中期开始,一批 500kV、220kV 的变电站仿真培训系统相继建成,并取得了良好的效果。最早出现的变电站仿真系统主要采取带盘台的模式,典型的如天津大学和大港油田水电厂共同研制开发的大港油田变电站仿真培训系统,该系统包括模拟控制盘、模拟继电器保护盘、配电装置、主接线模拟操

作盘和计算机控制仿真系统几部分。

[0007] 随着计算机、网络技术和多媒体技术的发展和基于微机平台和基于网络的变电站仿真系统（全软模式）的出现，学员的所有操作都可在计算机屏幕上完成。如南昌 500kV 站的仿真培训系统，整个系统仅由计算机硬件、仿真软件和网络组成，可直接安装在现场，满足各具体变电站仿真培训要求。另外还有，深圳供电局仿真培训系统，该系统仿真的对象包括深圳供电局 110kV 及以上的电网和主要厂站，模拟了 500kV 和 220kV 两个典型的虚拟变电站，所有的一、二次设备均在计算机屏幕上显示，用鼠标对设备操作，一次设备的巡视采用多媒体技术完成。该系统将电网仿真和变电站仿真结合为一体。成都 110kV 无人值班变电站及控制中心仿真培训系统由仿真机、教练员台、学员台、开发工作站和物理模拟操作间组成，通过以太网和 IO 设备相联，针对 110kV 集控站仿真培训，收集 8 种典型变电站，学员可以与教练台和物理模拟变电站通信。川渝 500kV 变电站和电网仿真系统以 500kV 变电站为全仿真对象，同时对川渝 500kV 变电站和电网全软件化仿真，即所有的显示和操作都在计算机屏幕上完成，并采用了实际的系统接线、设备参数、调度系统监控画面及控制和保护的定值。华中地区 500kV 仿真培训系统采用微机交互式分时 - 网络 - 软硬件结合的体系结构对微机继电保护装置、事件记录和微机录波装置及静补装置及其调节系统仿真，研制了建立在 LINUX 环境下的多用户仿真支撑系统，仿真软硬结合，控制盘、保护屏与现场一样，在屏幕上操作主控室设备。山东变电站仿真培训系统为带盘台模式的仿真系统，部分采用了软表盘，仿真系统软件主要由计算机操作系统、支持软件、模型软件、诊断软件、就地操作软件、虚拟盘台软件、动态二次系统软件、教练员台软件等组成。

[0008] 郑州工业大学开发的变电站仿真培训专家系统包括操作票和事故仿真培训两部分，利用多媒体技术实现变电站电气主接线模拟盘及保护屏的全软仿真，主要由变电站操作票、仿真培训系统和变电站事故仿真培训系统组成。黑龙江 500kV 变电站仿真培训系统采用带盘台模式，仿真微机保护的液晶输出，具有监视、巡视、操作、故障现象和处理功能，定值启动保护。

[0009] 内蒙古一电网 220kv 变电站仿真培训装置也带有盘台，软件主要由计算机软件、仿真支撑软件、仿真模型软件及算法库、工程师站软件、教练员软件、就地操作站软件和变电站监控系统仿真软件组成，采用多媒体技术实现户外设备的巡视和就地操作。赣培 500kV STS 为多电压等级变电站混合仿真系统，利用面向对象技术、领式数据库、局域网实时通信及多媒体技术构建硬件实物模型仿真与软件虚拟仿真相结合的混合仿真培训系统，通过人机交互界面、操作开关、表计和显示设备，全面观察系统运行状态。广东一电网故障诊断和处理变电站仿真培训系统模拟各种类型故障的报警信息，既可人工设置故障案例，也可由系统自动随机地产生故障案例，以训练调度员根据报警信息快速判断和处理故障的能力，该系统在软件体系结构方面引入客户 - 服务器模式，在图形化的基础上实现学员 - 教员台的教学功能。还有的新型变电站集中监控仿真培训系统可完整仿真两种典型的集中监控系统，它们对集控站所在电网及其所监控的 110、220、500kV 三个不同电压等级各具特点的变电站和综合自动化系统的详细仿真实现了集控中心仿真，变电站仿真、变电站仿真和电网仿真的一体化联合仿真，从而可全仿真整个集控站的生产运行过程。虽然上述各种培训仿真系统各有其特点，但主要的仿真功能都相差无几，一般包括仿真变电站的监控系统（学员 SCADA 系统）、系统的正常运行与操作仿真、系统异常与故障仿真、继电保护仿真、自动装

置与故障录波仿真、异常与故障的多媒体功能、以及教练员台功能等。

[0010] 目前来说,我们国内的仿真技术已比较成熟,与国外先进技术没有明显的差别,而且国外的仿真软件价格要高出国内数倍,因此很难进入国内市场。

[0011] 对于变电站仿真培训系统来讲,其发展与计算机技术、变电站监控技术的进步有着密切的关系,近年来逐渐出现了一些新的技术,如中国电力科学研究院的汤涌构想的仿真系统采用先进的分布式软件支撑平台技术,硬件采用一体化方式设计,能保证将变电站仿真系统和地区电网调度仿真系统有机地结合起来,使系统能够真实地反映电网和变电站监控系统的相互作用关系,能够同时对电网调度员、变电站监控运行人员进行联合培训。内蒙古—500kV变电站仿真培训系统应用三维图形技术为变电站仿真系统构造虚拟环境能大大提高变电站场景的真实感,文章研究了基于三维图形技术的变电站交互场景仿真的关键技术,给出了基于电气连接特性构造虚拟场景树型层次组织的方法等。目前加拿大等发达国家根据其变电站情况开发了基于虚拟现实技术的变电站仿真培训系统,但均不适用于我国国情,而我国在这方面的研究尚处于起步和探索阶段。

[0012] 此外,变电站仿真培训系统在发展过程中还面临着如下问题:

[0013] 1) 变电站仿真培训系统实现动态仿真、培训评估等比较困难。

[0014] 2) 国内的电网仿真培训研究侧重于调度员的日常操作而故障诊断和处理的培训研究不深,暂态过程的仿真也只能采用“事故再现”和“事故预想”的方法,不能随意仿真电网的事故。另外事故处理的答案完全由教员根据经验得出,缺乏智能性,很难得到最佳的处理措施,加上国内现场基础数据普遍较差,系统维护水平不高,有时产生不正确的仿真结构会误导运行人员。

[0015] 3) 在变电站仿真培训系统仿真方法的选择以及处理变电站仿真培训系统与在线能量管理系统的地位上,各变电站仿真培训系统厂家存在分歧,变电站仿真培训系统厂家和用户对其功能的看法不同,没有共同标准,而且一体化系统变电站仿真培训系统与基础应用软件和支持软件之间存在需求矛盾(如网架规模的确定、状态估计中可观测范围的选择,变电站仿真培训系统学员培训范围的选定等),独立型系统与异构系统的接口也非常困难。

[0016] 目前,国内对电网仿真培训的研究主要侧重于调度员的日常操作,多在稳态运行模拟方面具有功能完善的操作培训,而在故障处理培训方面效果欠佳。这些问题亟待解决。

发明内容

[0017] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种可减少人员工作量、可仿真电网事故、操作方便的具有仿真培训功能的电力控制系统及其仿真培训方法。

[0018] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0019] 一种具有仿真培训功能的电力控制系统,包括控制主机和安装在各个电力设备上的控制器,所述的控制器与控制主机电气连接,所述的控制主机内设有事故处理模块、日常操作模块、基础知识和电力设备预防性实验模块,其中,所述的事故处理模块用于仿真电力设备故障的发生及其维修操作,所述的日常操作模块用于仿真电力设备日常的检修和巡视操作,所述的基础知识和电力设备预防性实验模块用于保存电力设备的基础知识及工作原理,并对预防性实验进行动态显示。

- [0020] 所述的事故处理模块包括常见故障维修操作单元、设备异常维修操作单元、误操作引发故障维修操作单元和突发性事件维修操作单元。
- [0021] 所述的日常操作模块包括电力设备检修操作单元和设备巡视单元。
- [0022] 所述的控制主机内还设有系统设置模块、系统维护模块和系统帮助模块，
- [0023] 其中，所述的系统设置模块用于系统登陆密码的设置和修改，以及系统维护权限的划分；
- [0024] 所述的系统维护模块的功能包括三维模型库、场景库、专家知识库的备份和恢复，以及专家知识库知识规则的修改、编辑和添加；
- [0025] 所述的系统帮助模块是系统的使用指南，对系统的软硬件配置要求、具体操作使用方式和系统维护升级的方法进行具体说明。
- [0026] 所述的专家知识库中包括事故现象信息表、事故检查信息表和事故处理信息表。
- [0027] 一种具有仿真培训功能的电力控制系统的仿真培训方法，包括以下步骤：
- [0028] 1) 在控制主机中，对所有变电站室内的电力设备实体进行精确三维建模，并将其保存至三维模型库中；
- [0029] 2) 对生成的模型进行格式转换，然后进行 DOF 节点和 LOD 特效节点设置；
- [0030] 3) 对模型进行渲染，构建场景，并将场景保存至场景库中；
- [0031] 4) 采用纹理切换技术表示电力设备状态的变化，并对每个纹理及其替换纹理单独进行存储和管理；
- [0032] 5) 选择事故处理模块或日常操作模块中的一个培训案例进行仿真培训；
- [0033] 6) 当通过输入输出设备在控制主机上实施电力设备操作时，在某一操作任务的活动范围超出了一个场景时，控制主机将所涉及场景中包含的三维模型整体重载整合成一个新的场景，并在控制主机的显示器中显示相关电力设备的状态，并利用专家知识库中的知识规则判断并显示电力设备的故障状况；
- [0034] 7) 对于同一个场景内不同场地设备的状态反应，采用多通道技术对当前的场景窗口设置多个通道，其中一个通道用来在显示器上显示主操作设备所在场景并占满当前整个窗口，其它通道用于在显示器上显示待观察的设备所在场景并最小化于屏幕右上角。
- [0035] 所述的 DOF 节点用于表示电力设备的开关转动、柜门的拉开关闭、开关闸刀以及仪表指针的相对运动。
- [0036] 所述的纹理切换是指：对于状态发生变化的电力设备，在节点处的模型不变的情况下，将该节点模型的纹理按照预先设置的替换纹理进行替换。
- [0037] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：
- [0038] 1) 本发明采用 DOF 特效节点和纹理替换技术相结合的方式，实现电力设备的电力控制，减少人员的工作量、降低对计算机的硬件性能要求；
- [0039] 2) 本发明可随意仿真电网事故，提供模拟的操作环境，可用于操作人员的训练和培训；
- [0040] 2) 本发明是一种反应快速、便于管理、操作方便直观的电力控制系统，具有先进性、创新性、实时性、扩展性、可维护性、等优点。

附图说明

[0041] 图 1 为本发明的结构示意图。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0043] 实施例

[0044] 如图 1 所示，一种具有仿真培训功能的电力控制系统，包括控制主机 1 和安装在各个电力设备上的控制器 2，所述的控制器 2 与控制主机 1 电气连接，控制主机可对控制器参数进行控制。在所述控制主机中，对所有变电站室内的电力设备实体进行精确三维建模，以满足实时视景模拟。

[0045] 本实施例的电力控制系统除了与变电运行人员工作实际需求相一致外，还带有便于培训操作的功能模块。所述的控制主机 1 内设置的功能模块包括事故处理模块 11、日常操作模块 12、基础知识和电力设备预防性实验模块 13。其中，所述的事故处理模块 11 用于仿真电力设备故障的发生及其维修操作，包括常见故障维修操作单元、设备异常维修操作单元、误操作引发故障维修操作单元和突发性事件维修操作单元。所述的日常操作模块 12 用于仿真电力设备日常的检修和巡视操作，包括电力设备检修操作单元和设备巡视单元。以上各分类功能单元中相应设有大量具有典型特色的培训案例，其中每一个案例包含有 3 至 8 个培训要点具有很强的训练真对性且每一类培训案例的集合都能涵盖电力企业在该方面日常生产运营中遇到的各种设备工作状况，以此开阔培训人员的视野。其具体工作流程为在控制主机的主界面中点选功能模块中的单元并从中选取某一培训案例，即可进入该案例事发所在虚拟三维场景中进而使用键盘、鼠标进行相应的操作演练。所述的基础知识和电力设备预防性实验模块 13 用于通过二维图片、文字方式保存电力设备的基础知识及工作原理，并对预防性实验进行动态显示。

[0046] 所述的控制主机 1 内还设有系统设置模块 14、系统维护模块 15 和系统帮助模块 16 等辅助功能模块，其中，所述的系统设置模块 14 用于系统登陆密码的设置和修改，以及系统维护权限的划分，只有高权限的用户可进行系统维护，而其它用户只进行培训操作演练。所述的系统维护模块 15 的功能包括三维模型库、场景库、专家知识库的备份和恢复，以及专家知识库知识规则的修改、编辑和添加；此外高权限的用户还可对专家知识库中的事故现象信息表、事故检查信息表、事故处理信息表进行添加、编辑和修改。所述的系统帮助模块 16 是系统的使用指南，对系统的软硬件配置要求、具体操作使用方式和系统维护升级的方法进行具体说明。

[0047] 一种具有仿真培训功能的电力控制系统的仿真培训方法，包括以下步骤：

[0048] 1) 在控制主机中，对所有变电站室内的电力设备实体进行精确三维建模，并将其保存至三维模型库中；

[0049] 2) 对生成的模型进行格式转换，然后进行 DOF 节点和 LOD 特效节点设置；

[0050] 3) 对模型进行渲染，构建场景，并将场景保存至场景库中；

[0051] 4) 采用纹理切换技术表示电力设备状态的变化，并对每个纹理及其替换纹理单独进行存储和管理；

[0052] 5) 选择事故处理模块或日常操作模块中的一个培训案例进行仿真培训；

[0053] 6) 当通过输入输出设备在控制主机上实施电力设备操作时，在某一操作任务的活

动范围超出了一个场景时,控制主机将所涉及场景中包含的三维模型整体重载整合成一个新的场景,并在控制主机的显示器中显示相关电力设备的状态,并利用专家知识库中的知识规则判断并显示电力设备的故障状况;

[0054] 7) 对于同一个场景内不同场地设备的状态反应,采用多通道技术对当前的场景窗口设置多个通道,其中一个通道用来在显示器上显示主操作设备所在场景并占满当前整个窗口,其它通道用于在显示器上显示待观察的设备所在场景并最小化于屏幕右上角。

[0055] 本实施例具有仿真培训功能的电力控制系统的仿真培训方法主要包括三维视景仿真、三维模型数据库和场景库的设计、专家知识库的设计三个方面。

[0056] (1) 三维视景仿真

[0057] 视景仿真也是虚拟仿真的核心技术之一,可细分为仿真环境制作和仿真驱动两部分。其中仿真环境制作主要是虚拟场景建模具体内容包括:模型设计、场景构造、纹理设计等;仿真驱动主要包括:场景驱动、模型调动处理、分布交互、大地地形处理等,它要求高速、逼真地再现仿真环境、实时响应交互操作等。

[0058] 该系统要求对所有的室内电力设备实体进行精确三维建模以达到高度仿真效果的同时,又要满足实时视景仿真需求。3DS Max 软件是进行精确建模的最佳选择,但它所生成的 3DS 格式的文件结构却不适合进行实时渲染;MultiGen Creator 则被认为是实时仿真建模工具的首选,它的数据模型格式 OpenFlight 已成为虚拟仿真中的工业标准,但它所提供的建模工具较为单一,难以完成机械产品类的复杂结构建模。为了既能够取得逼真的三维设备图像,又能取得比较令人满意的实时渲染效果,我们采用 3DS Max 与 MultiGen Creator 相结合的方法进行建模即先在 3DS Max 中进行复杂结构建模保存为 .3ds 文件而后利用 Polytrans 插件将其转换为 OpenFlight 的标准格式 .f1t 文件,然后在 Creator 中进行 DOF、LOD 特效节点设置。同时选取支持 .f1t 文件格式的 Vega Prime 进行渲染和实时仿真,C++ 进行仿真程序的驱动。

[0059] 1)DOF 节点设置与使用

[0060] 在众多操作培训的案例中几乎都会涉及到对电力设备部件如开关柜的多档开关按钮的转动设置,柜门的拉开、闭合等操作。而这类实体操作的共性是均包含有子节点的相对运动。如多档开关的转动就是相对开关的轴心有一个相对运动;柜门的拉开、闭合是相对于柜门的轴框有一个相对运动。对于这一类型的相对运动,如果视为单个模型的运动,程序将难以对其行为进行精确的控制。而 Creator 的 OpenFlight 模型库中提供了 DOF 特效节点,该种节点可控制它的所有子节点按照设置的自由度范围进行移动或者旋转运动,从而为其增加了动态效果。

[0061] 设置 DOF 主要包括两个方面的内容:一个是设置局部坐标系;二是设置自由度限度。处于 DOF 节点下的实体的运动是相对于 DOF 局部坐标系的,其运动状态由空间位置 X、Y、Z 三个参数和绕局部坐标系的三个坐标轴的姿态 H、P、R 三个参数进行确定。仅在 CREATOR 软件中设置好 DOF 节点是远远不够的,还需 VegaPrime 的驱动程序应用 Traversal() 函数对场景图 (scene graph) 进行节点遍历搜索来找到待触发的 DOF 节点然后调用函数 Rotate(旋转角度) 触发,才能进行电力设备部件相对运动的特效展示。

[0062] 2) 纹理切换技术

[0063] 该系统的两大功能模块为正常操作以及故障操作仿真。其中每一案例中多会有多

步操作,而在复杂的电力设备系统中每一步的操作都会引起一个或多个设备的仪表、指示灯的状态表征发生连锁变化。目前有三种方法可用于表示电力设备的状态变化:1、节点替换:即另作一个模型用于表示模型发生变化后的状态。当触发动作发生时,用该模型替换掉原有设备模型,但在此替换过程中需对整个场景图进行遍历,直至找到这个被替换的模型节点为止,此方法的优点是替换后的节点模型形态表征准确,特别适用于表示虚拟设备的装配与维修,但需另作模型,增加了三维模型库的维护、管理难度,同时在模型调入过程中增加了进程开销,难以满足系统实时性的要求。2、利用 OpenFlight 模型数据库所营造的具有特殊效果的特征节点 (Switch node) 转换节点来表示状态变换。使用该种转换节点可以对其下层节点进行有选择性的控制显示,该种方法的优点是状态转换效果好,可进行多种状态的连续变换表示,但需额外建造模型节点,且对其下层节点的控制要有较强的逻辑性。3、纹理切换:面对几百个预案多达几千个状态变换,假若采取以上两种方法进行状态变化表示,则无疑会给建模带来较大的工作量,同时也给模型数据库的存储、管理带来了相应的难度,相对来讲最经济、有效的办法是采取纹理切换技术:即节点模型不变,但该节点模型的纹理按照预案进行替换用以表征模型的状态发生了变化。该种方法的特点是状态转换准确、效果好,操作简单,将三维空间问题转化成了二维问题,只需按照预案对状态待发生变化的节点模型的纹理进行绘制、保存(以备调用进行替换)即可。

[0064] 3) 多通道技术的设置与实现

[0065] 在事故处理仿真模块中,往往一个场所中的设备发生故障时常常会引起连锁故障反应导致其它场所中的设备部件状态也发生相应的变化。但由于视点所限往往在当前窗口中只显示场景中一部分模型设备的状态,不能同时展现故障发生时同一场景内不同场地中其它设备的状态反应。从而在视觉效果上不能充分展示事件的实时变化及设备之间的逻辑相关性,使培训者不能从总体高度全面观察到操作事件所引发的后果。为此,我们引入 vega prime 提供的多通道技术在场景驱动程序中对当前窗口设置多个通道,一个通道用来显示主操作设备所在场景并被调整占满当前整个窗口,其它通道用于显示待于观察的设备所在场景并被最小化于屏幕右上角。培训者可根据个人的观察需要点击窗口右上角对其它通道所示场景进行展示和隐藏。多通道技术同样适用于正常操作模块的培训案例中,可使培训人员从不同视角全方位展示、观察每一操作所引发的相关电力设备部件发生的状态变化,进而全面理清电力设备工作上的逻辑关系,从而为实际工作中进行故障诊断、维修操作奠定了理论基础。

[0066] (2) 三维模型库、场景库的设计

[0067] 在该电力虚拟维修仿真培训系统中,为达到高度仿真的效果,我们构建三维模型对实体进行表示。在一个最小街区块中电力系统所涉及的电力设备也很多,相应的所建造的三维模型的数目也十分庞大。如何组建数据库存储和管理虚拟场景中所需的各种三维模型,切实提高三维模型的重用性成了一个重要问题。目前常用的三维模型库的体系结构是一个树形存储结构,其根节点是模型库目录,枝干节点是模型类型,叶子节点是模型单元(指的是一个包含有模型文件存储目录 (Models 目录),纹理文件存储目录 (Texture 目录) 和属性文件存储目录 (Attributres 目录) 三个子目录的目录)。

[0068] 但在该仿真培训系统中每一个电力设备的操作任务都会引起大量自身或其他设备的状态变化,为此本文提出用纹理切换技术进行表示。但替换的纹理在原有模型库的众

多纹理中有可能无法找到,即使是替换纹理能够在原有模型库中能够找到,但其纹理映射关系复杂易出现表示错误,同时也会给三维模型库的管理带来了混乱。为此,我们对三维模型的树形存储结构加以改进,将每一个设备的替换纹理单独整理出来进行存储、管理。

[0069] 该电力仿真培训系统是以设备为主线,基于任务来进行模拟仿真。应该注意到现实状况中多个电力设备是共处一室,而这其中每一个设备的操作任务都在该室内发生,即每一事件发生的大背景不变。根据这一特性,我们可将这多个电力设备及其所共处的室内环境构建成一个场景。如一个变电站根据主设备的居所不同,可分为开关室、电抗室、电容室、主变室,其中每一个室内都会伴有其他设备,我们对此可构建相对应的开关室、电抗室、电容室、主变室场景并采用碰撞检测技术将视点的活动范围分别局限在上述场景中。若操作任务的活动范围超出了某一场景涉及到其它场景时,我们再对涉及到的不同场景中所包含的所有三维模型整体重载整合成一个新的场景。采用这种方法可减少建模人员的工作量、降低了系统加载三维模型时对计算机的硬件要求,同时提高了三维模型的重用性、减少了模型的调入调出次数进而加快系统运行速度满足了系统实时响应的要求。

[0070] Vega Prime 采用 ADF 文件来描述场景,在仿真驱动时根据操作任务所涉及到的设备所在场景来调用相应的 ADF 文件。经过调查和归类,该系统的众多案例中涉及到的不同场景也有很多,为此还应建立相应的场景库以方便对在三维模型的基础上组织起来的场景文件 ADF 的管理。

[0071] (3) 专家知识库

[0072] 电力仿真培训系统必须具有实时管理训练过程的能力。普遍采用的方法是构建知识库采用推理机进行推理,实现专家系统的功能,来指导用户的行为并管理训练操作过程。但此种专家系统在推理过程中比较耗时,难以满足该系统实时响应的要求;同时对于电力系统来讲无论是正常操作还是事故处理操作,电力设备的每一项任务的操作步骤都是有严格要求的不能随意改变其操作顺序。因此我们可用预案方式来解决系统对用户行为的响应问题。其中每一个预案所牵涉到一系列操作步骤,我们必须建立相应的专家知识库(操作规则知识库)来反应其中每一操作动作所引起的相关设备部件之间的复杂逻辑关系,其数据表结构设计如下。

[0073] 规则号 - 规则名称 - 操作阶段 - 操作部件名称 - 操作部件所属设备 - 操作前状态 - 操作后状态 - 影响部件 - 影响部件所属设备名称 - 影响部件原状态 - 影响部件反应后的状态 - 下一操作步骤的语音提示

[0074] 该产生式规则在程序代码中可描述为以下形式:

[0075] IF 操作部件名称 AND 操作部件前状态 THEN 响应部件名称 AND 响应部件状态 AND 下一操作步骤的语音提示

[0076] 根据系统的需要,对于事故处理操作模块中的案例还需要添加类似结构的事故现象信息表,事故检查信息表,并且在各个表间建立连结关系。以上基于关系数据表结构的各种知识表示构成了该系统通用性、可维护性较强的专家知识库,并与多媒体库相结合能对用户的操作行为做出实时有效地监督指导。

[0077] 对于电力控制系统对电力设备的控制部分在此不在详述,本领域的技术人员是易于理解的。本申请重点需要详述的是该电力控制系统还可以切换至其他的功能模块上,以便在虚拟的场景中直观地模拟电力控制系统的某些特殊状况下的工作状态,能够给工作人

员提供更为形象的操作感受,也可用于操作人员的训练与培训。

[0078] 上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的一个可行性实施例的具体说明,但是该实施例并非用以限制本发明的专利范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施例或变更,例如,等变化的等效性实施例,均应包含于本案的专利范围之内。

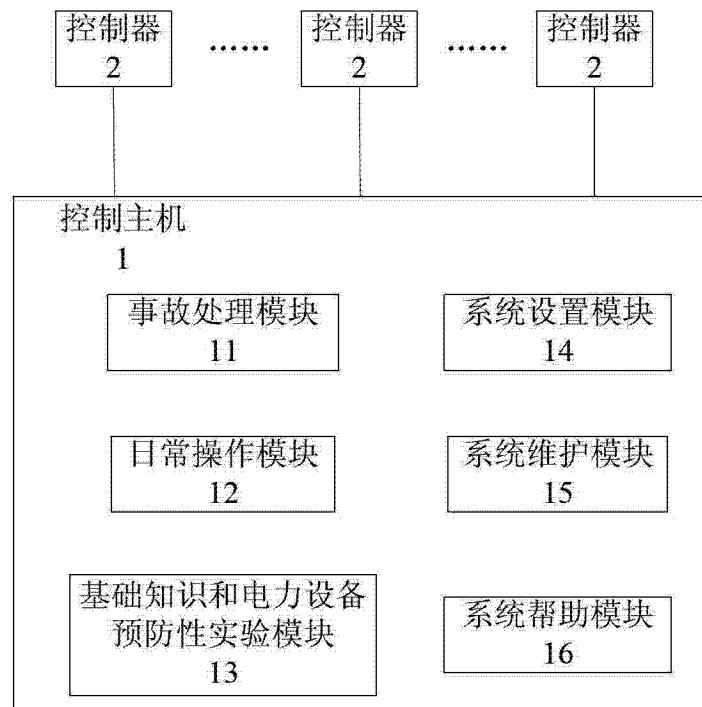


图 1