



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114970177 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210623965.0

(22) 申请日 2022.06.02

(71) 申请人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路  
122号

(72) 发明人 陈辉 邓佳佳 管聪 杜志鹏  
郑鑫

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限  
公司 42102

专利代理师 王杰 张宇

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 119/08 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

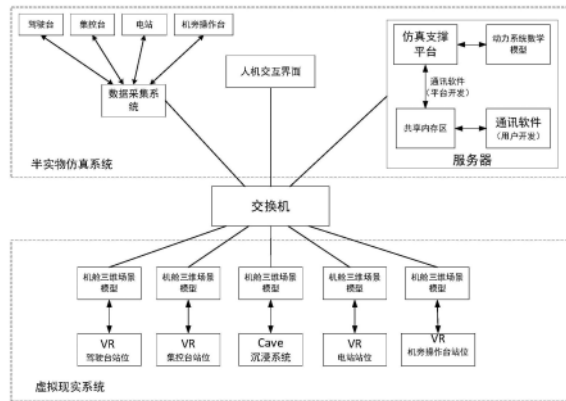
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统,属于舰船动力仿真系统的系统性能调试、人员操作培训等技术领域,包括半实物仿真系统、虚拟现实系统及千兆级网络交换机。虚拟现实系统通过高速网络实现与半实物仿真系统的实时交互与状态属性同步。虚拟现实系统包括CAVE沉浸式系统,驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统、机旁操作台站位VR系统等多站位VR系统。通过CAVE沉浸式系统和多站位VR系统的集成与数据整合,完成三维图像的实时同步,增加了多站位VR系统协同交互操作的功能。本发明提供了舰船动力仿真系统在系统性能调试和人员操作培训的真实仿真环境,显著提高了仿真系统总体效率与效益。



1. 一种基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统,其特征在于,包括:半实物仿真系统、千兆级网络交换机和虚拟现实系统,所述虚拟现实系统通过所述千兆级网络交换机实现与所述半实物仿真系统的实时交互与状态属性同步;

所述半实物仿真系统包括数学模型服务器、人机交互界面、数据采集系统、驾驶台、集控台、电站和机旁操作台,用于对舰船动力系统进行计算机仿真,模拟机舱内各种动力设备在各种工况、各种外界条件下的实际工作情况,以对人员在船舶维护、操作和管理方面进行培训,同时,将驾驶台、集控台、电站和机旁操作台上变量点的数据统一采集处理后发送至数学模型服务器,将来自数学模型服务器的数据加工处理后,发送给驾驶台、集控台、电站和机旁操作台上对应的点;

所述虚拟现实系统包括机舱三维场景模型、CAVE沉浸式系统、驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统及机旁操作台站位VR系统,通过构造沉浸式虚拟场景环境下的立体投影,实现与多站位VR系统的三维图像同步以及实时交互。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述数学模型服务器包括动力系统热力与控制数学模型、仿真支撑平台、共享内存区和通讯软件;

所述动力系统热力与控制数学模型用于采用逻辑模型和数学模型对舰船系统及各设备工作过程的数学及逻辑关系进行描述,其中,逻辑模型用于描述舰船系统逻辑关系,数学模型用于描述舰船系统输入和输出定量关系;

所述仿真支撑平台中装入动力系统热力与控制数学模型,仿真支撑平台软件运行在通讯软件服务器上,将动力系统热力与控制数学模型运行的数据结果传输到人机交互界面及实物盘台上进行显示,同时接收人机交互界面及实物盘台上输入的数据,并将实时仿真数据存放在实时仿真数据库中进行统一管理;

所述共享内存区为所述仿真支撑平台和人机交互界面以及数据采集系统之间的交互提供媒介;

所述通讯软件包括用户自行开发和仿真平台开发,用于实现人机交互界面及数据采集系统与动力系统热力与控制数学模型的数据通讯。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述动力系统热力与控制数学模型采用Fortran语言编写,包括主机系统数学模型、辅助系统数学模型和电站系统数学模型;

所述主机系统数学模型以容积法为基础,建立主机的稳态、瞬态和故障态模型,对主机系统的各部分模型分别选择插值法和龙格-库塔法进行仿真计算,建立主机实时仿真系统,以反映主机在各种工况下的特征和故障状态下的行为;

所述辅助系统数学模型包括空气系统、蒸汽系统、冷却水系统、燃油系统和滑油系统,利用面向对象的模块化建模思想,对所述冷却水系统、所述燃油系统、所述滑油系统、所述空气系统和所述蒸汽系统逐一建立精细的数学模型;

所述电站系统数学模型用于根据电工学、热力学和动力学原理,用数学形式来表示电站系统特性和状态参数之间的关系,实时反映舰船电站系统中各状态量的动态变化特性,包括动态数学模型及逻辑和控制数学模型,所述动态数学模型用于模拟舰船电站设备中柴油机、发电机、附属设备和系统动态特性的数学模型;所述逻辑和控制数学模型用于模拟舰船电站保护、报警、操作和控制的数学关系。

4. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述仿真支撑平台包括算法库管理、模块

化建模管理、模型运行管理和数据服务管理,在Windows操作系统的支持下运行,采用Fortran语言编写,用于实现工况选择或工况保存功能、冻结或解冻仿真模型、故障加入或消除功能、回退至过去任一仿真状态功能、任一回退点对仿真支撑平台进行重演功能、按预设时间间隔快存任一时刻的特定工况功能、仿真模型的加速与减速功能和仿真模型的运行监视功能,其中,所述模块化建模管理用于提供开放的、搭积木式的模块化建模环境,以实现舰船系统模型功能的扩展、完善和修改。

5. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述共享内存区包括:信息部分、操作界面系统与模型系统之间的双向模拟量的实时数值、操作界面系统与模型系统之间的双向数字量的实时数值、实物操作盘台与模型系统之间的双向模拟量的实时数值、实物操作盘台与模型系统之间的双向数字量的实时数值,其中,信息部分用于存放双向模拟量、双向数字量这四种类型变量的个数及共享内存的大小,模型系统是动力系统热力与控制数学模型与仿真支撑平台两部分的总称,所述共享内存区是所述操作界面系统、所述实物操作盘台与所述模型系统之间的桥梁;

所述操作界面系统和所述实物操作盘台与所述模型系统的数据通讯由ModOperComServer和ModOperComClient完成,其中,ModOperComServer完成所述操作界面系统和所述实物操作盘台与共享内存区的通讯,ModOperComClient完成共享内存区与所述模型系统的通讯,定时从所述操作界面系统和所述实物操作盘台取得固定的模拟量和数字量的数值和状态传输到所述模型系统中,所述模型系统使用取得的数据进行计算,计算结果定时向所述操作界面系统和所述实物操作盘台发送,在ModOperComServer通讯程序中包括硬操模式和软操模式。

6. 根据权利要求5所述的系统,其特征在于,用户自行开发的通讯软件用于完成所述操作界面系统及所述实物操作盘台与共享内存区的通讯,仿真平台开发的通讯软件用于完成共享内存区与所述模型系统的通讯,用户自行开发的通讯软件和仿真平台开发的通讯软件通过共享内存区的方式进行数据交换,用户自行开发的通讯软件从所述操作界面系统及所述实物操作盘台上读取发向所述模型系统的数据,并进行处理后放置到共享内存区中,从共享内存区中读取所述模型系统发向所述操作界面系统及所述实物操作盘台的数据,并发向所述操作界面系统及所述实物操作盘台,是共享内存区和所述操作界面系统及所述实物操作盘台之间的桥梁;仿真平台开发的通讯软件用于将所述操作界面系统及所述实物操作盘台发来的数据从共享内存区中读取,并放置到所述模型系统的模型中,将所述操作界面系统及所述实物操作盘台需要的数据从所述模型系统中写入到共享内存区中,是所述模型系统和共享内存区之间的桥梁。

7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述操作界面系统为人机交互界面,由驾驶室虚拟操作界面软件、集控台虚拟操作界面软件、电站虚拟操作界面软件、机旁操作台虚拟操作界面软件、柴油机示功图界面软件、机舱设备监控报警软件六部分组成,硬操模式和软操模式分别对应实物操作盘台操作与虚拟操作界面操作,虚拟操作界面软件安装在对应操作盘台的操作终端计算机上,其中,集控台包括两台监控计算机,分别运行柴油机示功图界面软件与机舱设备监控报警软件,通过对舰船柴油机及机舱设备的运行状况进行在线监控,采集相关运行参数并对运行参数进行分析,对工作中运行异常的数据给予相应的报警提示;

所述实物操作盘台包括驾驶台、集控台、电站和机旁操作台,在各盘台的底部安装有倍福采集模块,安装在耦合器上,用于采集各盘台上实操变量点并汇总发送给倍福控制器,同时将从倍福控制器接收来的数据分别发送给盘台上对应的显示变量点。

8. 根据权利要求1至7任意一项所述的系统,其特征在于,所述机舱三维场景模型在建模软件中进行建模、贴图,将建好的机舱三维模型导入引擎中进行驱动开发,对三维机舱设备的操作进行描述与定义、交互控制模式与机制确定,实现自动漫游、手动操作控制、碰撞检测、三维拾取、三维模型交互逻辑;

所述驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统、机旁操作台站位VR系统通过网络与数学模型服务器连接,各站位VR系统包括一套头戴式VR设备及一台客户端计算机,头戴式VR设备连接主机,主机通过网线连接千兆级网络交换机。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述CAVE沉浸式系统为沉浸式立体投影系统,包括CAVE屏幕、动作捕捉设备、立体眼镜、中控装置、主动3D投影设备和扩声设备;

所述CAVE屏幕为多面,包括正幕、左侧幕、右侧幕和地幕,所述正幕为背投式投影屏幕,所述左侧幕设于所述正幕的左侧,其为背投式投影屏幕,所述右侧幕设于所述正幕的右侧,其为背投式投影屏幕,所述地幕平铺于水平面上,其为正投式投影屏幕,正幕、左侧幕、右侧幕、地幕围合出一立体投影空间,3D投影图像需要按照主动3D投影设备的数量进行分割,使各投影屏幕显示出相应部分的图像,所有投影屏幕的图像边缘融合最后显示完整立体图像;

所述动作捕捉设备包括光学动作捕捉相机和交互设备,光学动作捕捉相机内置有红外光学跟踪摄像头和控制器,设置用户身上的标记点,通过利用多台摄像头捕捉标记点在三维空间中的运动信息,实时追踪用户的位置、姿态变化情况;交互设备具有多个按钮并配有模拟操纵杆,使用多自由度输出数据完成全部数据的匹配;

所述立体眼镜用于观看3D立体图像,配有红外发射器,用户进行交互动作时,将信息通过输入端口反馈给机舱三维场景模型,同步调节机舱三维场景模型的渲染视角和三维模型的运动状态,同时与主动3D投影设备一并将图像信号发送到CAVE屏幕设备上,以形成实时交互变化的立体图像,使CAVE系统和多个VR站位系统的状态及形态与数学模型服务器实时同步,构建统一的系统状态与形态,获得完全沉浸式体验;

所述中控装置包括主控制器,用于接收动作捕捉设备的位置信息和姿态变化信息,并将图像信息同步发送给主动3D投影设备、立体眼镜和多个VR站位的计算机,实现CAVE与多个站位三维图像同步,同时将相关音频信号发送给扩声设备;

所述主动3D投影设备包括图形服务器组及主动立体投影机组,图形服务器组安装有显卡及立体输出子卡,负责将从中控装置接收的图像信号进行信息处理并发送给主动立体投影机组,将实时画面呈现到立体投影系统的屏幕上;

所述扩声设备包括音响和麦克风,与中控装置连接,用于音效输出,实现原声再现。

10. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述千兆级网络交换机传输速率至少为1.58Gbit/s。

## 基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于舰船动力仿真系统的系统性能调试、人员操作培训等技术领域,更具体地,涉及一种基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统。

### 背景技术

[0002] 目前随着很多新型舰船陆续入列部队以及科学技术的快速发展,现代舰船正朝着自动化、智能化的方向全面发展,信息化水平的程度越来越高,从而对舰船操作管理人员的技术要求也逐渐提高,为了能有效、快速地提升受训人员的操作能力与管理经验,采用半实物模拟器或在实船上操作训练的方式进行培训,利用计算机仿真技术,实现受训人员在各种工况(航行、靠港、停泊、备车、起航、离港)和各种常见故障工况下的模拟操作训练。

[0003] 传统的半实物模拟器采用半实物仿真的方法,通过搭建与实船具有高度相似性的模拟操作平台,在模拟设备上操作从而获得与实船相近的系统响应过程。半实物模拟器通常由数学模型服务器、操作盘台、数据采集系统、监控报警界面软件等部分组成,近年来随着虚拟现实技术的发展,也会在半实物模拟器中接入VR头戴式设备来实现舰船三维视景仿真。

[0004] 虽然传统的半实物模拟器可以一定程度上对系统设备的操作方式、工作流程进行真实的模拟并获得较为精确的数值反馈及真实的声光效果,但是半实物模拟器的操作环境与实船环境差距较大。即使可通过VR头戴式设备来提高场景逼真度,但是操作者无法获得很好的实船操作沉浸感及多站位VR的协同交互操作。并且由于舰船组成系统多且复杂,部队所配备的各种模拟器和模拟培训系统大多也只具备单一系统的模拟训练功能,不能很好的满足新型舰船培训系统的要求。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,为了改善传统的舰船动力仿真系统存在的问题,本发明提供一种基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统,提供了舰船动力仿真系统在系统性能调试和人员操作培训的真实仿真环境,可以获得实船操作沉浸感及多站位VR的协同交互操作。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了一种基于CAVE的沉浸式舰船动力仿真交互系统,包括:半实物仿真系统、千兆级网络交换机和虚拟现实系统,所述虚拟现实系统通过所述千兆级网络交换机实现与所述半实物仿真系统的实时交互与状态属性同步;

[0007] 所述半实物仿真系统包括数学模型服务器、人机交互界面、数据采集系统、驾驶台、集控台、电站和机旁操作台,用于对舰船动力系统进行计算机仿真,模拟机舱内各种动力设备在各种工况、各种外界条件下的实际工作情况,以对人员在船舶维护、操作和管理方面进行培训,同时,将驾驶台、集控台、电站和机旁操作台上变量点的数据统一采集处理后发送至数学模型服务器,将来自数学模型服务器的数据加工处理后,发送给驾驶台、集控台、电站和机旁操作台上对应的点;

[0008] 所述虚拟现实系统包括机舱三维场景模型、CAVE沉浸式系统、驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统及机旁操作台站位VR系统,通过构造沉浸式虚拟场景环境下的立体投影,实现与多站位VR系统的三维图像同步以及实时交互。

[0009] 在一些可选的实施方案中,所述数学模型服务器包括动力系统热力与控制数学模型、仿真支撑平台、共享内存区和通讯软件;

[0010] 所述动力系统热力与控制数学模型用于采用逻辑模型和数学模型对舰船系统及各设备工作过程的数学及逻辑关系进行描述,其中,逻辑模型用于描述舰船系统逻辑关系,数学模型用于描述舰船系统输入和输出定量关系;

[0011] 所述仿真支撑平台中装入动力系统热力与控制数学模型,仿真支撑平台软件运行在通讯软件服务器上,将动力系统热力与控制数学模型运行的数据结果传输到人机交互界面及实物盘台上进行显示,同时接收人机交互界面及实物盘台上输入的数据,并将实时仿真数据存放在实时仿真数据库中统一管理;

[0012] 所述共享内存区为所述仿真支撑平台和人机交互界面以及数据采集系统之间的交互提供媒介;

[0013] 所述通讯软件包括用户自行开发和仿真平台开发,用于实现人机交互界面及数据采集系统与动力系统热力与控制数学模型的数据通讯。

[0014] 在一些可选的实施方案中,所述动力系统热力与控制数学模型采用Fortran语言编写,包括主机系统数学模型、辅助系统数学模型和电站系统数学模型;

[0015] 所述主机系统数学模型以容积法为基础,建立主机的稳态、瞬态和故障态模型,对主机系统的各部分模型分别选择插值法和龙格-库塔法进行仿真计算,建立主机实时仿真系统,以反映主机在各种工况下的特征和故障状态下的行为;

[0016] 所述辅助系统数学模型包括空气系统、蒸汽系统、冷却水系统、燃油系统和滑油系统,利用面向对象的模块化建模思想,对所述冷却水系统、所述燃油系统、所述滑油系统、所述空气系统和所述蒸汽系统逐一建立精细的数学模型;

[0017] 所述电站系统数学模型用于根据电工学、热力学和动力学原理,用数学形式来表示电站系统特性和状态参数之间的关系,实时反映舰船电站系统中各状态量的动态变化特性,包括动态数学模型及逻辑和控制数学模型,所述动态数学模型用于模拟舰船电站设备中柴油机、发电机、附属设备和系统动态特性的数学模型;所述逻辑和控制数学模型用于模拟舰船电站保护、报警、操作和控制的数学关系。

[0018] 在一些可选的实施方案中,所述仿真支撑平台包括算法库管理、模块化建模管理、模型运行管理和数据服务管理,在Windows操作系统的支持下运行,采用Fortran语言编写,用于实现工况选择或工况保存功能、冻结或解冻仿真模型、故障加入或消除功能、回退至过去任一仿真状态功能、任一回退点对仿真支撑平台进行重演功能、按预设时间间隔快存任一时刻的特定工况功能、仿真模型的加速与减速功能和仿真模型的运行监视功能,其中,所述模块化建模管理用于提供开放的、搭积木式的模块化建模环境,以实现舰船系统模型功能的扩展、完善和修改。

[0019] 在一些可选的实施方案中,所述共享内存区包括:信息部分、操作界面系统与模型系统之间的双向模拟量的实时数值、操作界面系统与模型系统之间的双向数字量的实时数值、实物操作盘台与模型系统之间的双向模拟量的实时数值、实物操作盘台与模型系统之

间的双向数字量的实时数值,其中,信息部分用于存放双向模拟量、双向数字量这四种类型变量的个数及共享内存的大小,模型系统是动力系统热力与控制数学模型与仿真支撑平台两部分的总称,所述共享内存区是所述操作界面系统、所述实物操作盘台与所述模型系统之间的桥梁;

[0020] 所述操作界面系统和所述实物操作盘台与所述模型系统的数据通讯由ModOperComServer和ModOperComClient完成,其中,ModOperComServer完成所述操作界面系统和所述实物操作盘台与共享内存区的通讯,ModOperComClient完成共享内存区与所述模型系统的通讯,定时从所述操作界面系统和所述实物操作盘台取得固定的模拟量和数字量的数值和状态传输到所述模型系统中,所述模型系统使用取得的数据进行计算,计算结果定时向所述操作界面系统和所述实物操作盘台发送,在ModOperComServer通讯程序中包括硬操模式和软操模式。

[0021] 在一些可选的实施方案中,用户自行开发的通讯软件用于完成所述操作界面系统及所述实物操作盘台与共享内存区的通讯,仿真平台开发的通讯软件用于完成共享内存区与所述模型系统的通讯,用户自行开发的通讯软件和仿真平台开发的通讯软件通过共享内存区的方式进行数据交换,用户自行开发的通讯软件从所述操作界面系统及所述实物操作盘台上读取发向所述模型系统的数据,并进行处理后放置到共享内存区中,从共享内存区中读取所述模型系统发向所述操作界面系统及所述实物操作盘台的数据,并发向所述操作界面系统及所述实物操作盘台,是共享内存区和所述操作界面系统及所述实物操作盘台之间的桥梁;仿真平台开发的通讯软件用于将所述操作界面系统及所述实物操作盘台发来的数据从共享内存区中读取,并放置到所述模型系统的模型中,将所述操作界面系统及所述实物操作盘台需要的数据从所述模型系统中写入到共享内存区中,是所述模型系统和共享内存区之间的桥梁。

[0022] 在一些可选的实施方案中,所述操作界面系统为人机交互界面,由驾驶台虚拟操作界面软件、集控台虚拟操作界面软件、电站虚拟操作界面软件、机旁操作台虚拟操作界面软件、柴油机示功图界面软件、机舱设备监控报警软件六部分组成,硬操模式和软操模式分别对应实物操作盘台操作与虚拟操作界面操作,虚拟操作界面软件安装在对应操作盘台的操作终端计算机上,其中,集控台包括两台监控计算机,分别运行柴油机示功图界面软件与机舱设备监控报警软件,通过对舰船柴油机及机舱设备的运行状况进行在线监控,采集相关运行参数并对运行参数进行分析,对工作中运行异常的数据给予相应的报警提示;

[0023] 所述实物操作盘台包括驾驶台、集控台、电站和机旁操作台,在各盘台的底部安装有倍福采集模块,安装在耦合器上,用于采集各盘台上实操变量点并汇总发送给倍福控制器,同时将从倍福控制器接收来的数据分别发送给盘台上对应的显示变量点。

[0024] 在一些可选的实施方案中,所述机舱三维场景模型在建模软件中进行建模、贴图,将建好的机舱三维模型导入引擎中进行驱动开发,对三维机舱设备的操作进行描述与定义、交互控制模式与机制确定,实现自动漫游、手动操作控制、碰撞检测、三维拾取、三维模型交互逻辑;

[0025] 所述驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统、机旁操作台站位VR系统通过网络与数学模型服务器连接,各站位VR系统包括一套头戴式VR设备及一台客户端计算机,头戴式VR设备连接主机,主机通过网线连接千兆级网络交换机。

[0026] 在一些可选的实施方案中,所述CAVE沉浸式系统为沉浸式立体投影系统,包括CAVE屏幕、动作捕捉设备、立体眼镜、中控装置、主动3D投影设备和扩声设备;

[0027] 所述CAVE屏幕为多面,包括正幕、左侧幕、右侧幕和地幕,所述正幕为背投式投影屏幕,所述左侧幕设于所述正幕的左侧,其为背投式投影屏幕,所述右侧幕设于所述正幕的右侧,其为背投式投影屏幕,所述地幕平铺于水平面上,其为正投式投影屏幕,正幕、左侧幕、右侧幕、地幕围合出一立体投影空间,3D投影图像需要按照主动3D投影设备的数量进行分割,使各投影屏幕显示出相应部分的图像,所有投影屏幕的图像边缘融合最后显示完整立体图像;

[0028] 所述动作捕捉设备包括光学动作捕捉相机和交互设备,光学动作捕捉相机内置有红外光学跟踪摄像头和控制器,设置用户身上的标记点,通过利用多台摄像头捕捉标记点在三维空间中的运动信息,实时追踪用户的位置、姿态变化情况;交互设备具有多个按钮并配有模拟操纵杆,使用多自由度输出数据完成全部数据的匹配;

[0029] 所述立体眼镜用于观看3D立体图像,配有红外发射器,用户进行交互动作时,将信息通过输入端口反馈给机舱三维场景模型,同步调节机舱三维场景模型的渲染视角和三维模型的运动状态,同时与主动3D投影设备一并将图像信号发送到CAVE屏幕设备上,以形成实时交互变化的立体图像,使CAVE系统和多个VR站位系统的状态及形态与数学模型服务器实时同步,构建统一的系统状态与形态,获得完全沉浸式体验;

[0030] 所述中控装置包括主控制器,用于接收动作捕捉设备的位置信息和姿态变化信息,并将图像信息同步发送给主动3D投影设备、立体眼镜和多个VR站位的计算机,实现CAVE与多个站位三维图像同步,同时将相关音频信号发送给扩声设备;

[0031] 所述主动3D投影设备包括图形服务器组及主动立体投影机组,图形服务器组安装有显卡及立体输出子卡,负责将从中控装置接收的图像信号进行信息处理并发送给主动立体投影机组,将实时画面呈现到立体投影系统的屏幕上;

[0032] 所述扩声设备包括音响和麦克风,与中控装置连接,用于音效输出,实现原声再现。

[0033] 在一些可选的实施方案中,所述千兆级网络交换机传输速率至少为1.58Gbit/s。

[0034] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0035] 构建一个高速网络系统通过数学模型仿真服务器完成半实物仿真系统与虚拟现实的CAVE系统、以及多站位VR系统的集成与数据整合。CAVE立体投影系统与多站位VR系统的图形服务器均上载到统一的机舱系统三维模型,实现三维图像的实时同步,并且增加了多站位VR系统协同交互操作的功能,提供了舰船动力仿真系统在系统性能调试和人员操作培训的真实仿真环境,显著提高了仿真系统总体效率与效益。

## 附图说明

[0036] 图1是本发明实施例提供的一种系统组成结构图;

[0037] 图2是本发明实施例提供的一种共享内存通讯过程示意图;

[0038] 图3是本发明实施例提供的一种模型实时仿真系统图;

[0039] 图4是本发明实施例提供的一种CAVE虚拟现实系统组成图;



- [0040] 图5是本发明实施例提供的一种CAVE系统功能框架图；
- [0041] 图6是本发明实施例提供的一种交互系统软件结构组成图；
- [0042] 图7是本发明实施例提供的一种交互系统硬件结构组成图。

### 具体实施方式

[0043] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0044] 如图1所示，本发明提供一种基于CAVE的沉浸式舰船交互动力仿真系统，包括半实物仿真系统、千兆级网络交换机和虚拟现实系统，虚拟现实系统通过千兆级网络交换机实现与半实物仿真系统的实时交互与状态属性同步，完成所有系统状态与变量的实时同步，构建统一的系统状态与形态，实现各子系统之间数据的实时交互；

[0045] 半实物仿真系统包括数学模型服务器、人机交互界面、数据采集系统，驾驶台、集控台、电站和机旁操作台等，用于对舰船动力系统进行计算机仿真，模拟真实船舶上的各种操作，通过用计算机来模拟机舱内各种动力设备在各种工况、各种外界条件下的实际工作情况，对人员在船舶维护、操作和管理方面进行培训；

[0046] 虚拟现实系统包括机舱三维场景模型、CAVE沉浸式系统、驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统、机旁操作台站位VR系统等多站位VR系统，解决半实物仿真真实感、沉浸感差的缺点，通过多站位VR系统实现多人协同操作及VR站位的实时交互，是一种支持多用户协同的沉浸式VR系统；

[0047] 千兆级网络交换机完成整个CAVE沉浸式舰船动力仿真交互系统的实时通讯，解决时钟同步和空间一致性的实现问题。

[0048] 在本实例中，半实物仿真系统与虚拟现实系统整合的混合仿真系统架构设计是通过构建一个高速网络系统使得数学模型服务器完成半实物仿真系统与虚拟现实系统的CAVE沉浸系统、以及多个站位VR系统的集成与数据整合，在划好的空间范围内搭建局域网，采用C/S通信模式实现数据的实时传输，其中数学模型所在的计算机做服务器，其他计算机做客户端，设置好服务器与客户端的网络IP地址与端口号，确定通信协议。

[0049] 在本实例中，虚拟现实系统中的CAVE沉浸式系统，构造出一个沉浸式虚拟场景环境下的立体投影，实现与多站位VR系统的三维图像同步以及实时交互作用。

[0050] 在本实例中，数学模型服务器是舰船动力仿真交互系统的核心，包括动力系统热力与控制数学模型、仿真支撑平台、共享内存区和通讯软件（即通讯用服务器）；

[0051] 动力系统热力与控制数学模型指对舰船系统及各设备工作过程的数学及逻辑关系描述，在这一个完整的仿真系统中同时包含了逻辑模型和数学模型，逻辑模型一般用于描述系统逻辑关系，逻辑模型通常比较简单，注重系统输入、输出之间的逻辑关系；数学模型描述系统输入、输出定量关系，反映了系统运行的机理；数学建模过程中经常需要忽略次要因素及不可测量变量，用数学物理方法描述系统输入、输出间的关系；

[0052] 仿真支撑平台也可称为模型开发平台，由算法库管理、模块化建模管理、模型运行管理、数据服务管理四部分组成，仿真支撑平台软件运行在计算机服务器上，将动力系统热

力与控制数学模型运行的数据结果传输到人机交互界面及实物操作盘台上进行显示,同时学员在人机交互界面及实物操作盘台上的输入数据传输到仿真支撑平台软件,实时仿真的数据可存放在仿真支撑平台的实时仿真数据库中,由仿真支撑平台中的数据库管理系统统一管理;

[0053] 通讯软件有两部分组成,即用户自行开发和仿真平台开发,负责实现操作界面系统及实物操作盘台与模型系统的数据通讯,用户自行开发的通讯软件主要完成操作界面系统及实物操作盘台与共享内存区的通讯,而仿真平台开发的通讯软件完成共享内存区与模型系统的通讯,用户自行开发的通讯软件和仿真平台开发的通讯软件通过共享内存方式进行数据交换,用户自行开发的通讯软件负责从操作界面系统及实物操作盘台上读取发向模型系统的数据,并进行处理,放置到共享内存中,从共享内存中读取模型系统发向操作界面系统及实物操作盘台的数据,并发向操作界面系统及实物操作盘台,是共享内存和操作界面系统及实物盘台之间的桥梁;仿真平台开发的通讯软件负责将操作界面系统及实物操作盘台发来的数据从共享内存中读取,并放置到模型系统的模型中,将操作界面系统及实物操作盘台需要的数据从模型系统中写入到共享内存中,是模型系统和共享内存之间的桥梁。

[0054] 进一步地,驾驶台、集控台、电站、机旁操作台等站位均为实物操作盘台,与实际船舶操作盘台保持一致,实物操作盘台上所有实体变量点可统一划分为数字量输入、数字量输出、模拟量输入、模拟量输出四种基本类型。

[0055] 进一步地,动力系统热力与控制数学模型采用Fortran语言编写,分为主机系统数学模型、辅助系统数学模型、电站系统数学模型三部分;主机是舰船系统主要的动力设备,对其工作过程建模与实时仿真是必要的,因此主机系统数学模型是半实物仿真系统所需仿真的主要对象,以容积法为基础,建立主机的稳态、瞬态和故障态模型,在计算机上对主机系统的各部分模型分别选择插值法和龙格-库塔法进行仿真计算,保证半实物仿真系统的计算精度、实时性和长时间运行的要求,建立主机实时仿真系统能够很好的准确反映主机在各种工况下的特征和故障状态下的行为;辅助系统数学模型包括空气系统、蒸汽系统、冷却水系统、燃油系统和滑油系统等,利用面向对象的模块化建模思想,对冷却水系统、燃油系统、滑油系统、空气系统、蒸汽系统等其他系统逐一建立精细的数学模型,保证了实时仿真的精确计算;电站系统数学模型分为两大部分,一部分是动态数学模型,用来模拟舰船电站设备中柴油机、发电机、附属设备和系统动态特性的数学模型,另一部分是逻辑和控制数学模型,用来模拟舰船电站保护、报警、操作和控制的数学关系;根据电工学、热力学和动力学原理,用数学形式来表示电站系统特性和状态参数之间关系的数学模型表达式,实时反映舰船电站系统中各状态量的动态变化特性。将整个动力系统热力与控制数学模型装入仿真支撑平台中,进行实时仿真,可以实现各种工况(航行、靠港、停泊、备车、起航、离港等)和各种常见故障工况下的模拟操作。

[0056] 进一步地,仿真支撑平台的教练员台担负着仿真支撑平台运行控制及监视仿真过程任务,丰富、方便、实用的教练员台功能是仿真支撑平台能力得以发挥的重要手段,仿真支撑平台主要由模块化建模管理、算法库管理、模型运行管理和数据服务管理等组成,它在Windows操作系统的支持下运行,算法采用Fortran语言编写,模块化建模管理提供了一个开放的、搭积木式的模块化建模环境,为系统模型功能的扩展、完善、修改提供了一个方便

快捷的开发手段,仿真支撑平台主要实现这几个功能:工况选择或保存功能,系统中设置足够多个初始工况选择槽位,可以方便地装入或存储任一初始工况,可以随时将自己希望的工况作为初始条件进行存储,或装入任一初始条件后开始仿真机运行;冻结或解冻,可以方便地在任意时刻冻结仿真模型,在需要时恢复模型的运行;故障功能,在任何需要时刻,可以加入或消除工程师配置好的故障,提供足够多的故障驱动能力;回退功能,仿真支撑平台运行过程中,可连续记录仿真机状态数据,以便回退到过去某一状态,回退点由教练员选定;重演功能,可以任一回退点对仿真支撑平台进行重演,重演内容包括学员所进行的所有操作,重演过程能方便地停止,重演过程时间由教练员选定;快存功能,仿真支撑平台运行过程中,可自动地按一定时间间隔(由用户设定)快存任一时刻的特定工况,也可以由教练员在任意时间手动进行快存,快存数据可供回退,重演使用,也可以作为初始工况调用,系统应提供至少20个快存点,各快存点时间间隔不受限制;模型的加速与减速,对某些快速动态过程,可人为放慢其仿真模型的运行速度,对某些慢速动态过程,可以人为加快模型的运行速度,这可由模型局部加速功能实现,提供了数组局部加速控制,供教练员需要使用,另外应提供模型整体加速功能,可将整体仿真模型加减速;运行监视功能,在仿真支撑平台运行中,教练员可通过运行监视功能监视模型的运行状况,在窗口中可用不同的颜色显示不同的趋势曲线,同时监视不同参数的变化趋势,趋势显示时间应可调,各参数显示量程可调。

[0057] 如图2所示,共享内存区分五部分,分别为:信息部分、操作界面系统与模型系统之间的双向模拟量的实时数值、操作界面系统与模型系统之间的双向数字量的实时数值、实物操作盘台与模型系统之间的双向模拟量的实时数值、实物操作盘台与模型系统之间的双向数字量的实时数值,其中,信息部分用于存放双向模拟量、双向数字量这四种类型变量的个数及共享内存的大小,模型系统是动力系统热力与控制数学模型与仿真支撑平台两部分的总称,即数学模型仿真服务器,包括动力系统热力与控制数学模型与仿真支撑平台的功能总和。

[0058] 共享内存区是操作界面系统、实物操作盘台与模型系统之间的桥梁,操作界面系统、实物操作盘台与模型系统的数据通讯由两个通讯软件完成,即ModOperComServer和ModOperComClient,ModOperComServer完成操作界面系统、实物操作盘台与共享内存的通讯,而ModOperComClient完成共享内存与模型系统的通讯,这两部分程序通过共享内存方式进行数据交换,操作界面系统、实物操作盘台与模型系统的数据交换是定时从操作界面系统、实物操作盘台取得固定的模拟量和数字量的数值和状态传输到模型系统中,模型系统使用取得的数据进行计算,计算结果定时向操作界面系统、实物操作盘台发送,在ModOperComServer通讯程序中还可以选择操作模式,操作模式用两种,分别为硬操模式和软操模式,用户可以根据情况做出选择。

[0059] 进一步地,操作界面系统也叫人机交互界面,由驾驶台虚拟操作界面软件、集控台虚拟操作界面软件、电站虚拟操作界面软件、机旁操作台虚拟操作界面软件、柴油机示功图界面软件、机舱设备监控报警软件六部分组成,硬操模式和软操模式分别对应着实物操作盘台操作与虚拟操作界面操作两种属性,虚拟操作界面软件安装在对应操作盘台的操作终端计算机上,另外集控台单独配有两台监控计算机,分别运行柴油机示功图界面软件与机舱设备监控报警软件,通过对舰船柴油机及机舱设备的运行状况进行在线监控,采集相关

运行参数并对运行参数进行分析,对工作中运行异常的数据给予相应的报警提示,全面掌握柴油机及机舱设备的运行参数,有助于工作人员准确判断故障所在,及时抢修,采取预防措施,防止事故的发生。

[0060] 进一步地,实物操作盘台由驾驶台、集控台、电站、机旁操作台等部分组成,在各盘台的底部安装有倍福采集模块,安装在耦合器上,倍福采集模块负责采集各盘台上实操变量点(数字输入DI和模拟输入AI)并汇总发送给倍福控制器,同时也负责将从倍福控制器接收来的数据分别发送给盘台上对应的显示变量点(数字输出DO和模拟输出AO),倍福控制器采用嵌入式控制器C6015-0010的型号,操作系统选择Compact 7,设置合适的IP地址和端口号后连接交换机,在个人电脑Visual Studio中内嵌Twin Cat开发环境,采用ST语言编写数据的收发程序,将编写好的程序下载到工控机PLC后即可建立起实物操作盘台与数学模型服务器之间实时通讯,实现数据的实时交互。

[0061] 进一步地,驾驶台操作盘台另外布置有一台操作终端计算机,用于运行驾驶台虚拟操作界面软件,面板上布置有一个显示器与操作终端计算机连接,集控台操作盘台另外布置有2台监控计算机和1台操作终端计算机,两台监控计算机分别用于对一些重要的变量点报警的上下限设置以及监控机舱各设备的运行状态及参数,还有对柴油机示功图的监控显示,一台操作终端计算机用于运行集控台虚拟操作界面软件,面板上布置有三个显示器分别与两台监控计算机和一台操作终端计算机连接;电站操作台另外布置有一台操作终端计算机,用于运行电站虚拟操作界面软件,面板上布置有一个显示器与操作终端计算机连接;机旁操作台另外布置有一台操作终端计算机,用于运行机旁操作台虚拟操作界面软件,面板上布置有一个显示器与操作终端计算机连接。

[0062] 进一步地,人机交互界面用于运行各实物操作盘台的监控计算机和操作终端计算机上,每个操作盘台至少有一台计算机上配有通讯软件,负责与服务器进行实时通讯,达到半实物仿真系统内部数据实时交互的作用。

[0063] 进一步地,数据采集系统用于将各实物盘台上变量点的数据统一采集上来发送给工控机,在工控机中进行数据加工处理后发送至数学模型服务器,同时工控机接收来自数学模型服务器的数据并进行加工处理后,发送给各实物操作盘台上对应的点,进而起到读写功能。

[0064] 进一步地,如图3所示,在以上半实物仿真系统中,实现了模型的实时仿真交互,通过实时调节系统对仿真模型的一系列操作引起系统状态与形态的改变,产生的实时变化的状态数据会写入到共享内存中,同时实时仿真数据库会记录下当前数据状态的变化,数据库管理系统会对仿真模型运行产生的数据统一进行记录保存管理。仿真支撑平台中的I/O数据库接收到实时仿真的数据,由仿真支撑平台中的I/O管理系统负责统一管理,采用C/S模式、TCP/IP的通信架构,将实时数据发送到人机交互界面的图形监控系统及半实物仿真系统服务器中的I/O接口系统,由I/O接口系统发送到实物操作盘台,完成整个半实物仿真系统的实时通讯与数据交互。

[0065] 进一步地,机舱三维场景模型在建模软件中进行建模、贴图,将建好的机舱三维模型导入引擎中进行驱动开发,对三维机舱设备的操作进行描述与定义,交互控制模式与机制确定,实现自动漫游、手动操作控制、碰撞检测、三维拾取、三维模型交互逻辑。

[0066] 进一步地,机舱三维场景模型需要用三维制作软件构建出具有三维数据的模型,

3D建模行业通用软件有3DMax、Maya、Sketchup等,本实施例使用的建模工具是3DMax,构建三维模型是虚拟现实系统的基本元素,在虚拟场景视觉中观看到的任何物品、任何模型都是再现真实场景中的实物,这也是虚拟现实能给人一种身临其境的关键因素,建模是构建场景的基础,在建模过程中最重要的一点是控制模型比例,同样重要的还有模型的优化,一个好的虚拟现实项目不仅要逼真,还要求运行流畅,保证程序包不会占用太大的内存,基本的优化原则:控制模型面数,部分次要的细节和纹理用贴图、法线贴图弥补,删除不被显示的面,尽量减少模型的点以达到优化目的;材质处理在大量实景照片的基础上,利用PS技术对于贴图材质进行色彩、形状、大小调整,完成仿真处理;导入Unity3D,设置材质、灯光,由于虚拟引擎无法读取三维软件中的材质灯光信息,所以赋予材质这一环节在虚拟引擎中实现,当3D建模、贴图完成后,导出成FBX格式(一种支持所有主要的三维数据元素以及二维、音频和视频媒体元素的通用文件格式),导入Unity3D,将模型导入引擎后,逐个赋予材质,以达到最接近现实的物体外观效果,最终完成模型的制作、材质搭配、纹理贴图,对三维机舱设备的操作进行描述与定义,交互控制模式与机制的确定,实现自动漫游、手动操作控制、碰撞检测、三维拾取、三维模型交互逻辑,利用C#高级编程语言对场景及模型的交互控制模式与机制进行编程,实现后期在VR站位中VIVE头戴式设备和CAVE沉浸式系统中交互动作指令。

[0067] 进一步地,驾驶台站位VR系统、集控台站位VR系统、电站站位VR系统、机旁操作台站位VR系统等多站位VR系统通过千兆级网络交换机与数学模型服务器连接,各站位VR系统包括一套头戴式VR设备(如HTC VIVE设备)及一台客户端计算机,头戴式VR设备连接主机,主机通过网线连接网络交换机,设置好网络IP地址与端口号,可以实现各站位与半实物仿真系统的实时交互以及与CAVE系统的三维图像同步。主机通过下载VIVE驱动程序、Steam以及Steam VR插件可以实现将制作好的模型加场景对接进HTC VIVE设备,利用手柄对编程好的动作进行操作调试。首先构建光影即渲染,Unity会将光影关系计算出来,随后运行项目,检查是否存在某些物体没有碰撞、模型之间是否存在交叉或是裂缝、灯光是否过曝或不足、手柄交互是否有误等,确认无误后,打包导出成一个应用程序包,此时,便可运行程序包,戴上VIVE头戴式设备沉浸到虚拟环境中,各站位VR系统负责各自站位的操作,配合动作指令,实现多人协同操作及VR站位的实时交互,它是一种支持多用户协同的沉浸式VR形式,操作模式除硬操模式和软操模式外,这里又增加了一种三维操作交互模式,大大提高了操作的灵活性。

[0068] 结合图4,CAVE沉浸式系统为4面6通道CAVE立体投影系统,包括CAVE屏幕、动作捕捉设备、3D眼镜、中控装置、主动3D投影设备、扩声设备。动作捕捉设备包括光学动作捕捉相机和交互设备,用于实时捕捉用户的位置、角度信息和姿态变化情况并把它们作为CAVE系统的输入信号发送给CAVE主控制器,接收到信号后对其进行分析和运算,从而调整机舱三维模型虚拟场景的渲染视角和控制改变虚拟模型的运动状态,实时渲染出虚拟现实动画图像,随后把它们处理成图像信息发送给主动3D投影设备输出到CAVE屏幕设备上并且同步发送给3D立体眼镜,实现3D立体眼镜与CAVE屏幕画面的实时同步,通过用户的操作控制改变机舱三维模型的系统状态,并实时渲染出相应的虚拟现实动画图像,从而实现虚拟现实的人机交互。中控装置的同步信号还会同步发送到扩声设备中,用于音效输出,实现原声再现。这里还可以选择用户共享的沉浸式立体投影环境,允许多个用户将他们自己沉浸在同

一个高度逼真的模拟环境中,同时在眼睛不被遮蔽的情况下面对面的自然交流,适用于教学演示。通过将CAVE系统接入高速网络系统中,实现虚拟现实系统中CAVE沉浸式系统与多站位VR系统三维图像的实时同步,也实现了整个系统状态与形态的统一。

[0069] 进一步地,CAVE沉浸式系统为沉浸式立体投影系统,包括CAVE屏幕、动作捕捉设备、立体眼镜、中控装置、主动3D投影设备、扩声设备;CAVE屏幕为多面,包括正幕、左侧幕、右侧幕和地幕,正幕为背投式投影屏幕;左侧幕设于正幕的左侧,其为背投式投影屏幕;右侧幕设于正幕的右侧,其为背投式投影屏幕;地幕平铺于水平面上,其为正投式投影屏幕;正幕、左侧幕、右侧幕、地幕围合出一立体投影空间,3D投影图像需要按照主动3D投影设备的数量进行分割,才能使各投影屏幕显示出相应部分的图像,所有投影屏幕的图像边缘融合最后显示完整立体图像;

[0070] 动作捕捉设备包括光学动作捕捉相机和交互设备,光学动作捕捉相机内置有红外光学跟踪摄像头和控制器,设置用户身上的标记点,通过利用多台摄像头捕捉标记点在三维空间中的运动信息,包括位置、角度信息等,便可实时追踪用户的位置、姿态变化情况。交互设备具有多个按钮并配有模拟操纵杆,需要安装另外的软件来控制按钮和操纵杆,使用多自由度输出数据完成全部数据的匹配;

[0071] 立体眼镜也称3D眼镜,用户通过立体眼镜便可观看到3D立体图像。配有红外发射器,用户进行交互动作时,便可将信息通过输入端口反馈给机舱三维模型,同步调节机舱三维场景的渲染视角和三维模型的运动状态,同时与主动3D投影设备一并将图像信号发送到CAVE屏幕设备上,从而观看到可实时交互变化的立体图像,使CAVE系统和多个VR站位系统的状态及形态与数学模型服务器实时同步,构建统一的系统状态与形态,获得完全沉浸式体验;

[0072] 中控装置包括主控制器,用于接收动作捕捉设备的位置信息和姿态变化信息,并将图像信息同步发送给主动3D投影设备、立体眼镜和多个VR站位的计算机,实现CAVE与多个站位三维图像同步,同时将相关音频信号发送给扩声设备;

[0073] 主动3D投影设备包括图形服务器组及主动立体投影机组,图形服务器组安装有显卡及立体输出子卡,负责将从中控装置接收的图像信号进行信息处理并发送给主动立体投影机组,将实时画面呈现到立体投影系统的屏幕上;

[0074] 扩声设备包括音响和麦克风,与中控装置连接,用于音效输出,实现原声再现。

[0075] 如图5所示,CAVE沉浸式系统中,用户使用时需进行场景选择和模式选择,场景选择中有4个站位场景,分别对应着驾驶台站位VR、集控台站位VR、电站站位VR、机旁操作台站位VR,通过使用分屏软件进行分屏管理,与CAVE中控器完成视频显示控制,CAVE与4个VR站位的图形服务器均上载统一的机舱系统三维模型,系统状态与形态,以及系统的操作与数学模型服务器进行实时同步,实现CAVE与4个站位三维图像同步,并且在CAVE系统中每台图形服务器采用同步卡输出,完成4面6通道的三维图像立体同步;模式选择中有自动漫游与手动交互两种模式,自动漫游涉及到船舶驾驶台、一层、机舱以及全景的漫游,有助于用户获得身临其境的感性认识,增强真实感;手动交互模式中有逻辑操作与逻辑复原,可以通过模拟各种工况下的操作及复原,有助于对学员的培训与教学,使训练者体会到实船操作感及对机舱设备结构的认知感。

[0076] 如图6所示,整个舰船动力仿真交互系统软件由数学模型软件(主机系统数学模

型、辅助系统数学模型、电站系统数学模型)、仿真支撑软件、人机交互界面(虚拟操作界面、监控报警软件)、通信软件、CAVE系统(ART系统软件)和操作系统等组成,采用C/S通信模式,其中,数学模型软件用于实现各种工况(航行、靠港、停泊、备车、起航、离港)和各种常见故障工况下的模拟操作;仿真支撑软件用于对数学模型进行统一调度与管理,实现模型运行管理、工况投入、故障设置等功能;人机交互界面用于舰船动力仿真交互系统在驾驶台、集控台、电站、机旁操作台等部位的软件界面操控,以及用于对舰船主机、机舱设备运行状态监测与控制;通信软件用于系统内部各组成部分之间的实时数据通信。

[0077] 如图7所示,整个舰船动力仿真交互系统硬件由实物操作盘台(4台)、操作终端计算机(3台)、监控计算机(2台)、数据采集系统、仿真计算机、VR站位计算机(4台)、HTC VIVE设备(4套)、CAVE系统硬件(立体投影机、4面6通道投影幕、CAVE主控器、图形服务器组等)、网络交换机等组成,其中,实物操作盘台与实船保持一致,所有计算机通过千兆级网络交换机等网络接口设备组成一个局域网。

[0078] 进一步地,交互式实体行为建模,系统与实体变量统一描述,通过数学模型仿真服务器完成半实物仿真系统与虚拟现实系统的CAVE系统、多站位VR系统的集成与数据整合。

[0079] 进一步地,高速网络系统数据传输速率至少为1.58Gbit/s,完成整个系统实时通讯,解决时钟同步与空间一致性的实现问题。

[0080] 需要指出,根据实施的需要,可将本申请中描述的各个步骤/部件拆分为更多步骤/部件,也可将两个或多个步骤/部件或者步骤/部件的部分操作组合成新的步骤/部件,以实现本发明的目的。

[0081] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

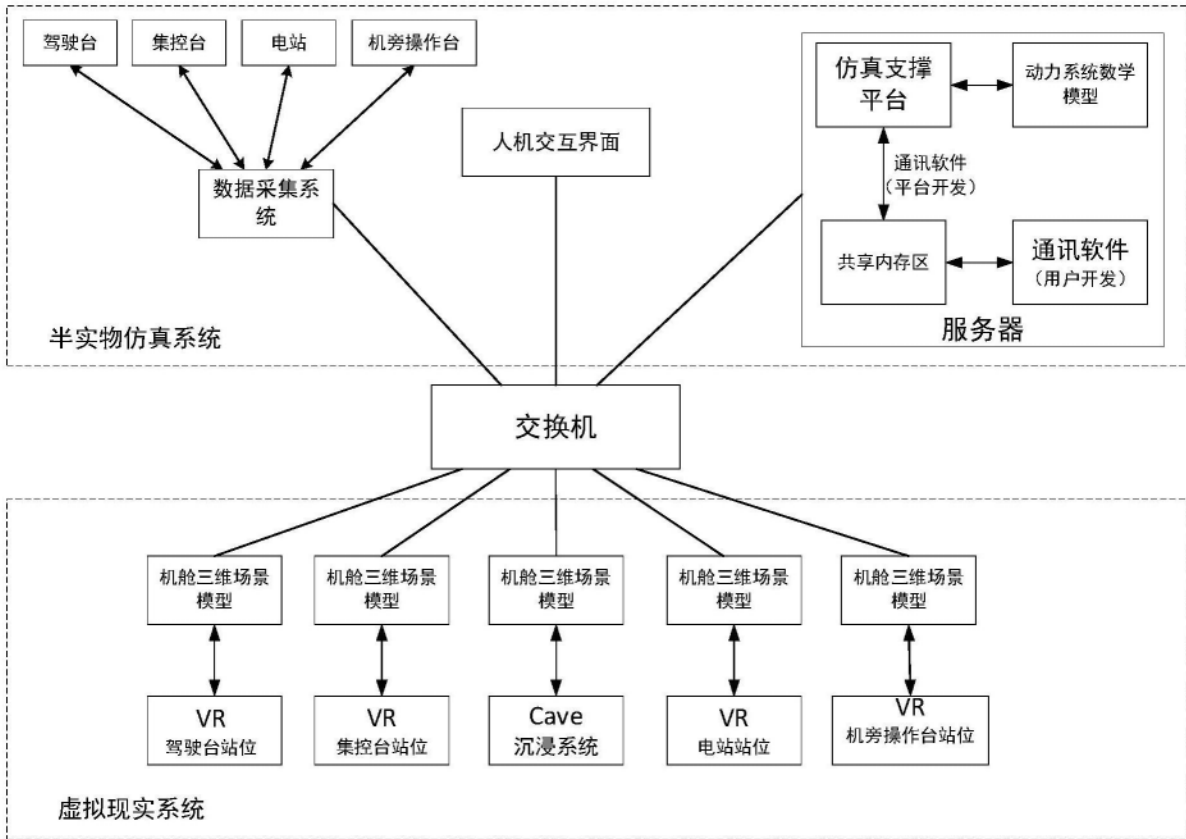


图1

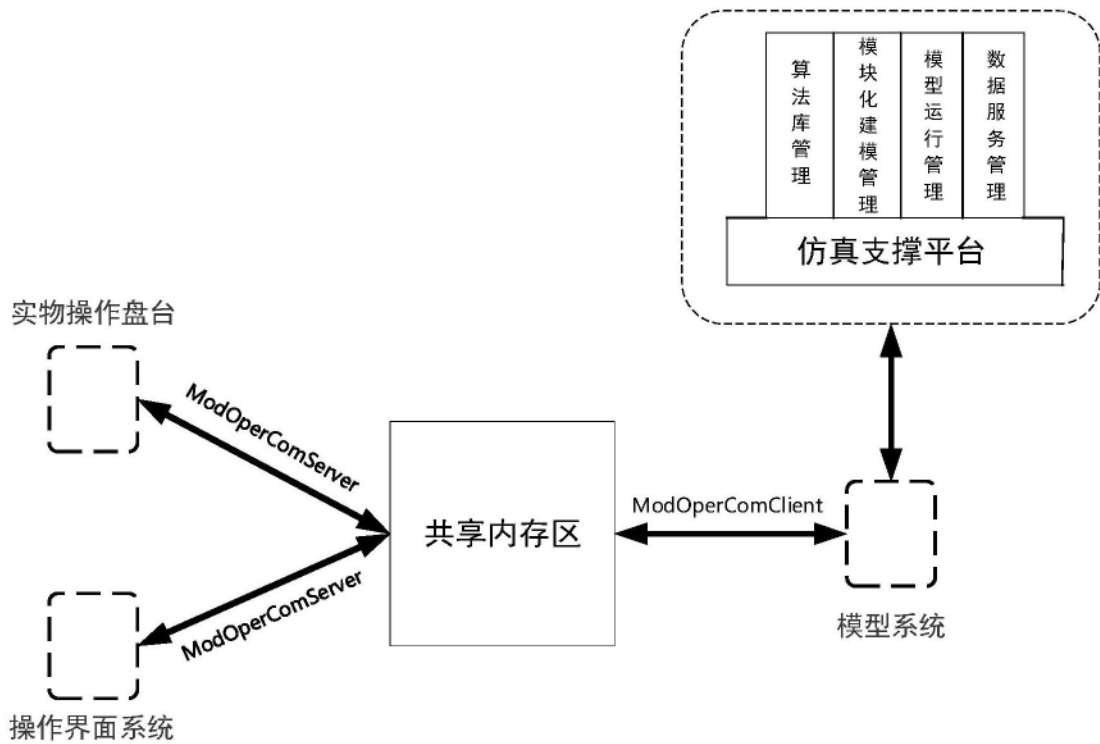


图2



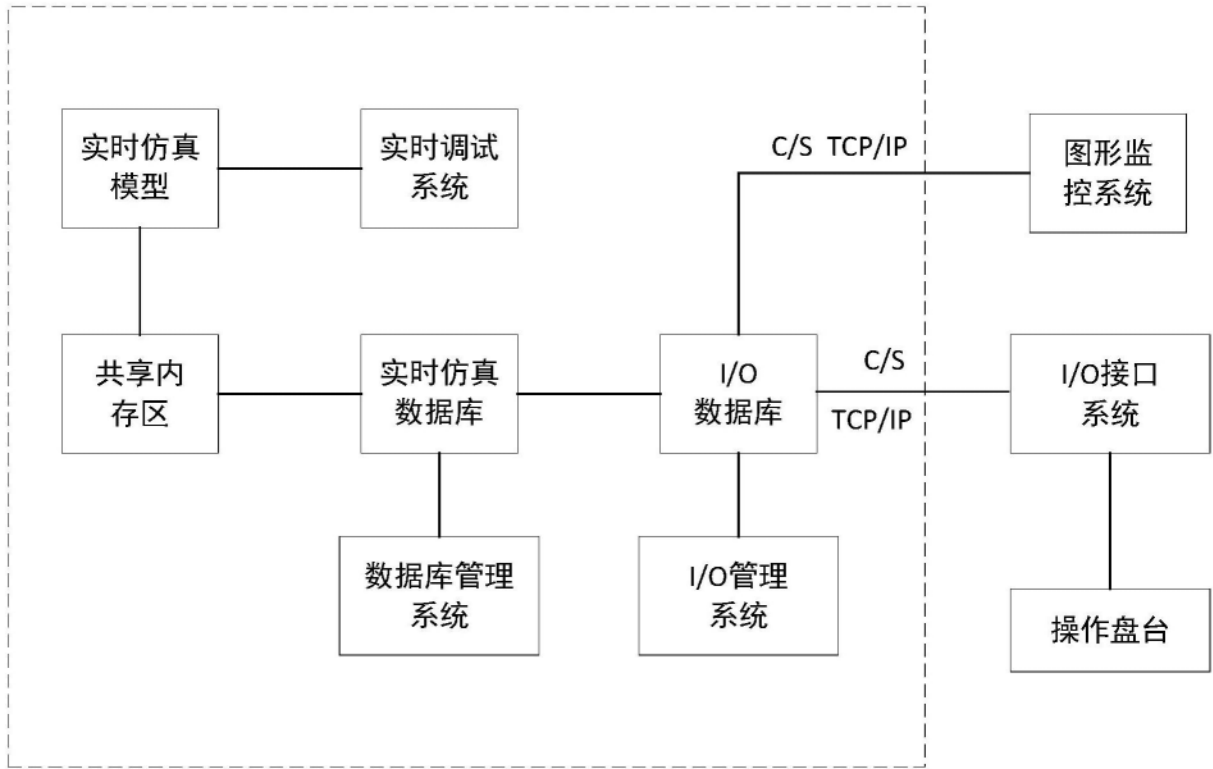


图3

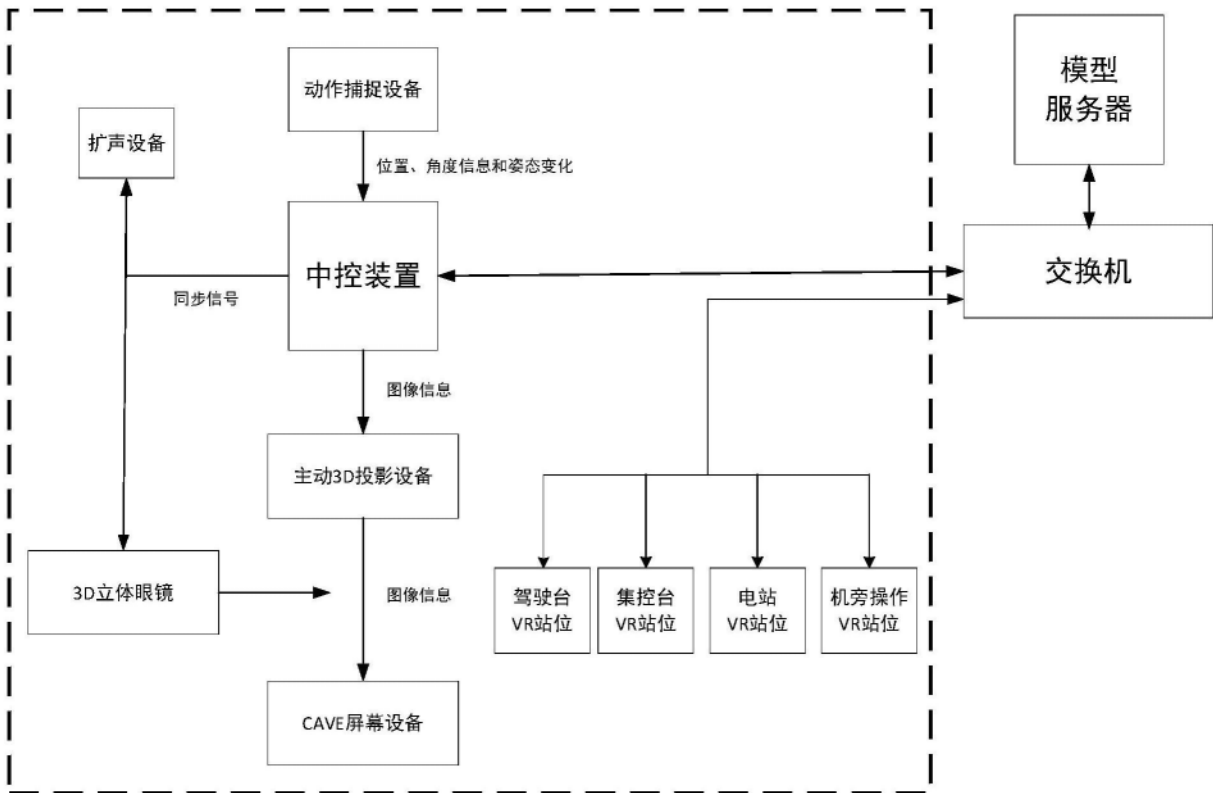


图4

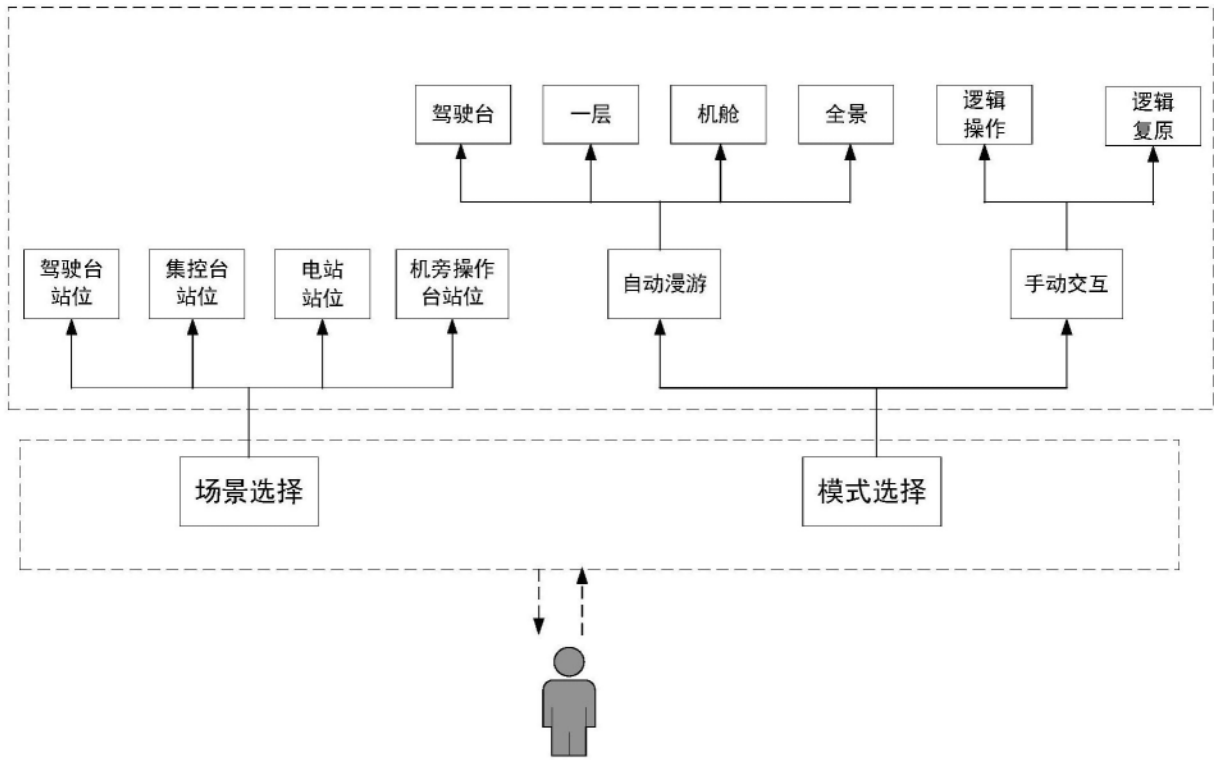


图5

### Windows操作系统

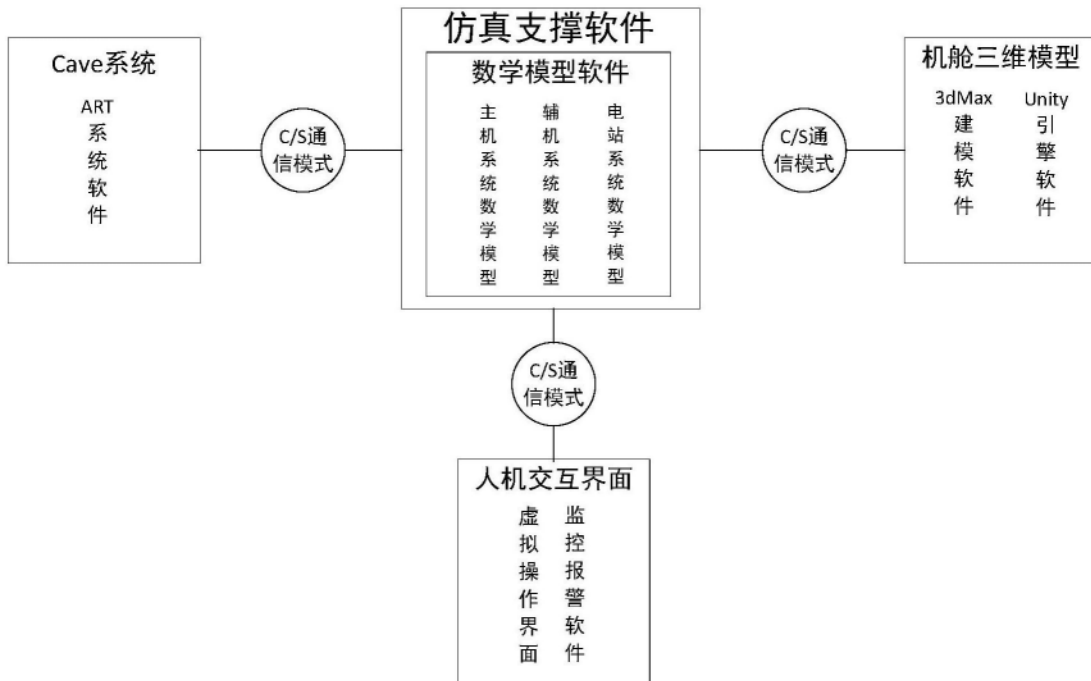


图6

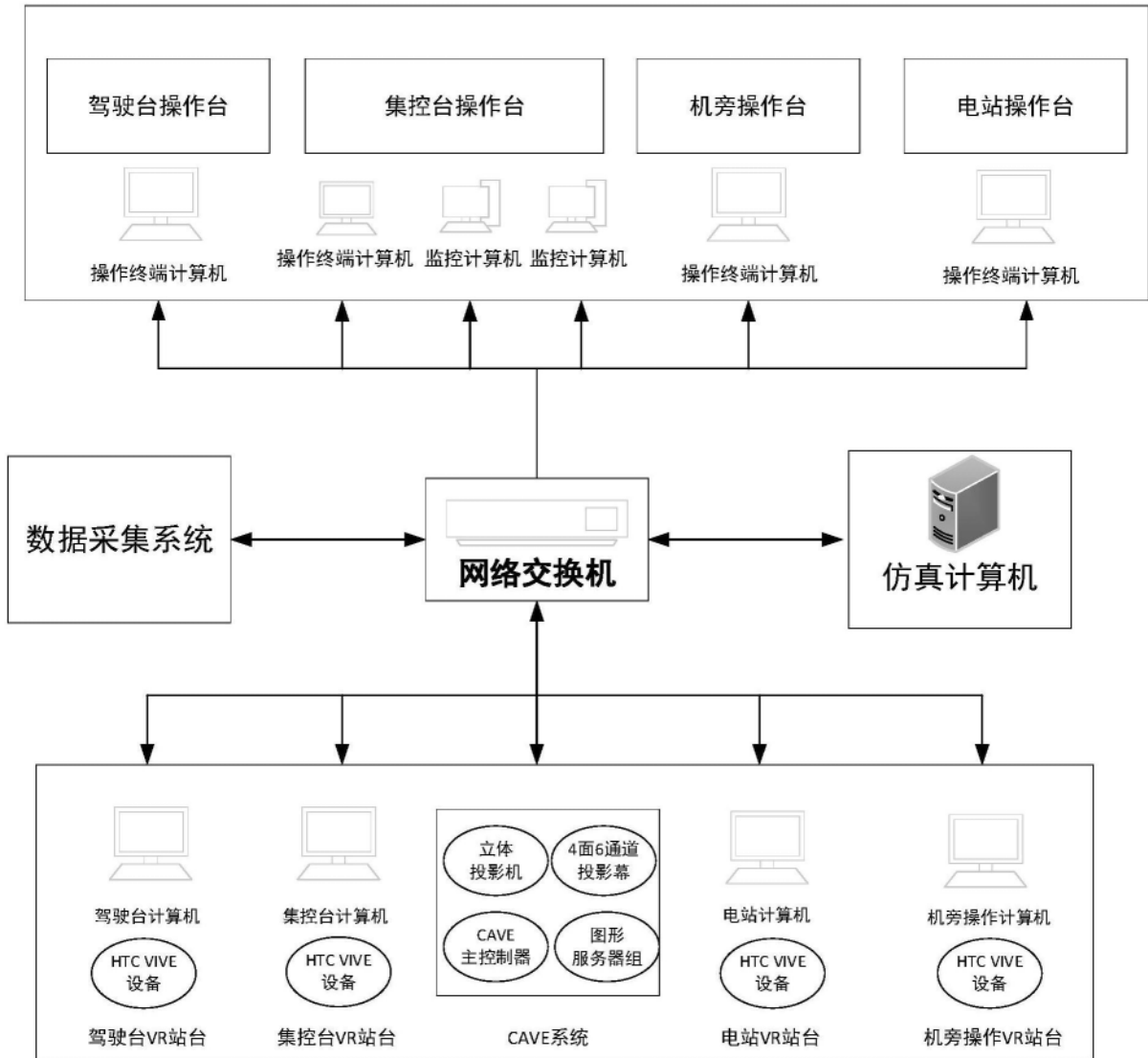


图7