



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111208759 A

(43)申请公布日 2020.05.29

(21)申请号 201911388529.4

(22)申请日 2019.12.30

(71)申请人 中国矿业大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路丁11号

(72)发明人 葛世荣 张帆 管增伦

(51)Int.Cl.

G05B 19/042(2006.01)

权利要求书3页 说明书7页 附图5页

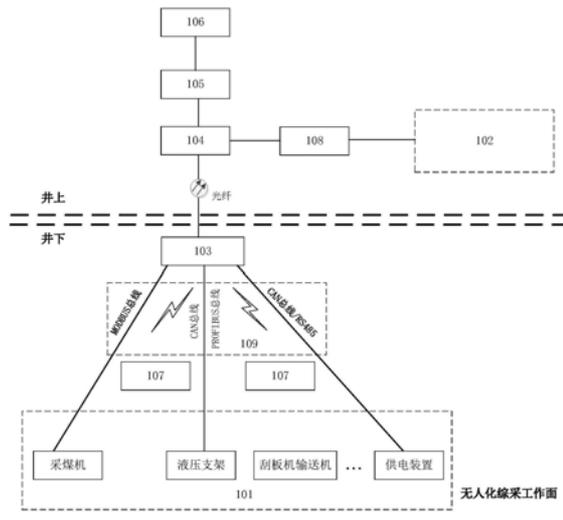
(54)发明名称

矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统

(57)摘要

本发明公开了矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统及方法,实现该方法的系统由物理实体、数字孪生体、智能网关、云服务器、云数据库、5G基站、机器视觉装置、通信接口、网络交换机和视频终端组成。该发明通过构建数字孪生模型,基于三维可视化虚拟场景,利用卷积网络深度学习算法进行感知分析、仿真模拟、迭代优化与决策控制;基于数据孪生和数据驱动,通过虚拟空间数字孪生无人化综采工作面实现对远程物理空间矿井无人化综采工作面的实时监控、智能感知、精准定位和健康预测。本发明解决了现有监控系统通信接口不统一、设备集成能力弱、视频监控图像处理实时性差等问题,提高了矿井无人化综采工作面智能监控系统的实时性、准确性和鲁棒性。

CN 111208759 A



1. 矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统,其特征在于,所述系统由物理实体、数字孪生体、智能网关、网络交换机、云服务器、云数据库、5G基站、机器视觉装置、视频终端和通信接口组成;

所述系统数字孪生体通过所述通信接口获取所述物理实体的运动状态和实时数据,实现双向通信、信息交互和实时监控;

所述系统智能网关用于矿井无人化综采工作面多源数据进行实时采集、处理和传输,计算、存储无人化工作面实时位置信息,为井下无人化工作面提供定位服务;

所述系统云服务器和云数据库用于数据存储、分析与优化,为所述系统提供数据通信接口和云存储平台;

所述系统5G基站用于矿井无人化综采工作面的无线通信与精确定位;其特征还在于,

所述系统云数据库采用松耦合的微服务云平台架构,具有多模数据引擎和计算存储分离功能,具有对结构化、半结构化和非结构化数据的统一管理功能,以及Web Service接口和ODBC数据库通信接口,实现对所述物理实体的历史运行数据、传感器更新数据以及物理模型数据分布式存储管理;

所述系统智能网关采用嵌入式RTOS、OPC UA服务适配器和MEC技术,具有独立于底层通信协议的实时数据采集和边缘计算功能,支持5G空中接口、以太网接口、光网络接口、MODBUS总线接口、PROFIBUS总线接口、CAN总线接口、RS485接口、TCP/UDP和HART通信协议,实现数据的低延时安全传输和定位服务;

所述系统机器视觉装置由线结构光发射装置和视觉感知单元组成,利用视觉感知单元采集矿井无人化综采工作面图像,通过线结构光几何三角三维数据获得矿井无人化综采工作面三维信息;

所述系统通信接口由以太网接口、光网络接口、MODBUS总线接口、PROFIBUS总线接口、CAN总线接口、RS485接口、TCP/UDP和HART通信协议构成,采用5G空中接口、OPC UA工业标准通信协议完成矿井无人化综采工作面的数据采集与数据传输,并通过5G基站实现无线通信与定位功能;

所述系统采用卷积神经网络深度学习算法,对多源传感器感知数据、状态数据以及历史数据进行数据挖掘,通过训练和优化仿真模型实现数字孪生体的自学习和自优化,提高系统的智能监控精准性和鲁棒性;

所述系统采用稀疏度自适应的压缩感知算法,对矿井无人化综采工作面物理实体的三维模型图像进行采样、压缩与重构,生成可视化三维仿真模型,改善监控图像的清晰度与抗噪性能;其特征还在于,

所述系统实现数字孪生智能监控的方法,包括如下步骤:

步骤1,物理模型建立:建立物理实体的三维可视化物理模型,根据物理实体的几何外形和机械结构,定义物理模型的几何属性、运动属性和功能属性;

步骤2,逻辑模型表示:建立可控制的逻辑模型,将物理模型映射到逻辑模型,通过图形化、形式化描述逻辑模型的组成要素、组织结构和运行机制,并通过逻辑模型将各要素属性和行为反馈到物理模型,实现对物理模型的优化;

步骤3,仿真模型建立:基于开源图形场景OSG构建可视化的仿真模型,实现物理实体的孪生对象可视化、孪生结构可视化和孪生过程可视化,定义仿真模型的迭代优化条件;

步骤4, 仿真模型优化: 基于多源数据, 采用Pareto多目标优化算法对仿真模型进行训练和优化, 并将仿真结果反馈到物理模型;

步骤5, 仿真模型验证: 利用模型相关性与相容性测量与评估算法对物理模型与仿真模型进行一致性与可靠性验证, 如满足仿真模型的目标函数迭代优化条件, 则执行步骤6, 否则, 执行步骤2;

步骤6, 数据模型构建: 构建可计算的数据模型, 通过数据采集、数据挖掘和数据决策体系, 采用多源数据融合和深度学习算法, 以及优化迭代和智能决策方法, 实现物理实体与虚拟孪生体的数据镜像和数据交换;

步骤7, 数字孪生演进: 形成可交互的数字孪生体, 将物理模型、逻辑模型、仿真模型和数据模型演进优化与数据集成, 集成数字孪生体子集, 通过数据驱动与实时交互, 实现数字孪生体与物理实体的信息交互; 以及,

所述系统实现数字孪生体的方法, 进一步包括如下步骤:

步骤1, 物理实体三维建模: 利用三维建模工具建立矿井无人化综采工作面的物理实体三维模型, 并采用有限元分析法求解三维模型的结构参数、几何参数、材料参数、状态参数及边界条件;

步骤2, 模型渲染优化: 根据步骤1所获取的三维模型, 使用3DsMax三维渲染工具对模型结构透视图或点云图进行渲染、添加材质, 并对其边缘部分进行修补优化;

步骤3, 仿真场景构建: 将步骤2渲染后的模型导入虚拟现实仿真引擎, 使用其内置的物理引擎, 基于开源图形场景OSG构建可视化仿真模型;

步骤4, 数据处理: 将物理实体的多源传感器数据作为输入, 经多源数据融合后输出, 并将传感器实时数据、历史数据及物理模型存储在云数据库中;

步骤5, 交互控制: 通过OPC UA、TCP/UDP、Web Service通信接口实现数据实时采集、远程通信和多源动态数据的实时更新, 通过VR或AR人机接口实现数字孪生体与物理实体的实时交互及虚拟监控。

2. 根据权利要求1所述的系统, 其特征在于, 所述系统物理实体三维建模过程, 进一步包括如下子步骤:

步骤1-1, 参数初始化: 初始化矿井无人化综采工作面物理实体的结构参数、几何参数、状态参数及边界条件;

步骤1-2, 有限元分析: 采用有限元法求解计算, 获取矿井无人化综采工作面在三维动态优化中的结构参数、几何参数、状态参数及边界条件, 得出其随状态变量变化的收敛条件;

步骤1-3, 收敛性评估: 如果矿井无人化综采工作面物理模型优化目标函数满足收敛条件, 则获取矿井无人化综采工作面物理模型的点云图, 执行步骤1-4; 否则, 更新参数, 执行步骤1-1;

步骤1-4, 目标函数优化: 更新设计参数集并进行迭代计算, 直至求得目标函数的局部最优解为止, 获取矿井无人化综采工作面物理模型点云图的最优方案, 计算结束; 其特征还在于,

所述系统模型渲染优化过程, 进一步包括如下子步骤:

步骤2-1, 获取三维场景中矿井无人化综采工作面物理模型的透视图;

步骤2-2,定义矿井无人化综采工作面物理模型的表面颜色、透明度、粗糙度和纹理;

步骤2-3,添加矿井无人化综采工作面物理模型的材料参数、结构数据和几何数据及优化边界条件;

步骤2-4,导入矿井无人化综采工作面物理模型,使用3DsMax对其渲染,并对模型边缘进行渲染优化;以及,

所述系统场景仿真构建过程,进一步包括如下子步骤:

步骤3-1,采用虚拟现实仿真引擎建立矿井无人化综采工作面物理模型;

步骤3-2,利用物理引擎的计算结果驱动图形渲染引擎进行渲染和绘制;

步骤3-3,对矿井无人化综采工作面物理模型旋转、平移和姿态进行解析,求解出其倾角、夹角、位置与运动状态变量之间的关系;

步骤3-4,基于开源图形场景OSG构建可视化仿真模型,实现数字孪生体可视化建模、生产过程与作业场景可视化展示。

3. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述系统采用物理实体结构模型、几何模型和材料模型的多尺度、多层次集成,将物理空间中的物理实体在虚拟空间进行全要素重构,通过实时数据采集、数据融合和迭代计算,形成具有感知、分析、决策和执行能力的数字孪生体。

4. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述系统对矿井无人化综采工作面物理模型的结构参数和几何参数更新、优化,采用集成的多物理、多尺度和动态概率仿真模型,生成与物理实体1:1比例的数字孪生体三维模型。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述系统具有对矿井无人化综采工作面进行感知分析、仿真模拟、迭代优化与决策控制,基于机器视觉和深度学习算法,实现物理实体的数字镜像、数据驱动和动态控制,并通过数字孪生体实现智能感知、远程控制、精确定位、实时监测、故障诊断和健康预测功能。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述数字孪生体根据矿井无人化综采工作面的物理模型及其传感器历史数据和更新数据,利用云数据库实时同步多源传感器数据和运行状态,并通过通信接口实现数据传输、信息交互和远程监控。

7. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述机器视觉装置包括可定位三维场景的高清摄像机、深度相机、CCD视觉传感器、CMOS视觉传感器和SCMOS探测器。

8. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述矿井无人化综采工作面包括井下无人开采工作面、井下智能开采工作面、井工及露天矿无人化工作面和机器人化采矿装备作业场景;矿井无人化综采工作面采矿装置包括采煤机器人、液压支架、刮板输送机和转载机,以及机器人化采矿装备。

9. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述系统实现数字孪生体的三维建模工具包括激光扫描仪、Creo parametric、UG NX或3DsMax,所述系统场景构建过程采用Unity3D物理引擎,具有实时渲染、碰撞检测、物理约束、粒子模拟、实时光影和视觉控制功能。

10. 根据权利要求1所述的系统,其特征还在于,所述系统智能网关、5G基站和机器视觉装置为本质安全型防爆装置。

## 矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种机器视觉、5G通信和数字孪生技术,属于人工智能、物联网与计算机仿真技术领域,具体涉及矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统。

### 背景技术

[0002] 煤炭是我国重要的基础能源,以煤为主的能源结构在相当长时间内不会改变。近年来,随着无人化开采与信息技术深度融合,加快了矿井智能开采技术兴起并蓬勃发展。与此同时,采用集约化生产方式的现代化矿井,通过以技术创新为驱动的智能、安全和无人化开采,旨在实现矿井生产的无人、增安、提效目的。这对于矿井无人化综采工作面监控的实时性、准确性和可靠性提出了更高的要求,毋庸置疑,新一代智能监控技术将在其中扮演重要角色。

[0003] 现有矿井监控系统采用井下设备-上位机-服务器-客户端结构,主要基于传统组态软件和人机交互界面,通过命令系统或GUI图形用户界面,以菜单选择选项通过输入特定的数据或命令,以及从单个设备中查看传感器数据,实现对井下开采工作面的监控。因此,现有监控系统对井下工作面目标监控不直观、智能化程度低,难以通过可视化工作面直观反映矿井工作面环境、工况状态、设备运行状态、故障定位和健康预测。而且,现有矿井监控技术中,井下多种设备数据通信接口,主要通过MODBUS总线接口、PROFIBUS总线接口、CAN总线接口、RS485、TCP/UDP和HART通信协议与上位连接实现数据的采集与通信,通信接口不统一,使用灵活性较差,不易对现场设备集成,无法实时处理现场设备的信息数据和视频图像,无法进行作业现场的三维可视化实时监控、设备故障精确定位和健康状况预测,难以实现对矿井人-机-物-环的有机融合、大数据挖掘和智能决策,以及对井下无人化综采工作面物理空间全息感知、生产过程及性能可视化监控、虚拟场景动态三维再现。因此,需要探索发明一种新的监控系统与方法,基于可视化三维模型进行感知分析、仿真模拟、迭代优化与决策控制,通过虚拟场景和物理信息技术实现矿井无人化综采工作面的远程可视化智能监控,以解决现有技术难题。

[0004] 数字孪生技术广泛应用于智能制造和虚拟生产车间,并逐渐从数字化向智能化和智慧化发展,具有三维模型可视化、逻辑可控制、数据可计算的虚拟模型构建特点。随着5G边缘计算技术、机器视觉三维建模技术以及视觉传感器测量技术在工业应用成果的不断推广,基于5G边缘计算和机器视觉的数字孪生技术将在未来监控技术领域起技术引领作用,并将在矿井无人化综采工作面智能监控应用方面发挥重要作用。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是:为了克服现有技术不足之处,本发明提出了一种面向矿井无人化综采工作面的数字孪生智能监控系统,通过构建矿井无人化综采工作面数字孪生模型,基于机器视觉和卷积神经网络深度学习算法,实现数字孪生体与物理实体之间镜像重构、双向通信、信息交互与虚拟监控。

[0006] 本发明的技术方案是：矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统，所述系统由物理实体、数字孪生体、智能网关、云服务器、云数据库、5G基站、机器视觉装置、通信接口、网络交换机和视频终端组成。

[0007] 所述系统数字孪生体通过所述通信接口获取所述物理实体的运动状态和实时数据，实现双向通信和信息交互。

[0008] 所述系统智能网关用于矿井无人化综采工作面多源数据进行实时采集、处理和传输，计算、存储无人化综采工作面实时位置信息，为井下无人化综采工作面提供定位服务。

[0009] 所述系统云服务器和云数据库用于数据存储、分析与优化；

[0010] 所述系统5G基站用于矿井无人化综采工作面的无线通信与精确定位。

[0011] 所述系统云数据库采用松耦合的微服务云平台架构，具有多模数据引擎和计算存储分离功能，具有对结构化、半结构化和非结构化数据的统一管理功能，以及Web Service接口和ODBC数据库通信接口，实现对所述物理实体的历史运行数据、传感器更新数据以及物理模型数据分布式存储管理。

[0012] 所述系统智能网关采用嵌入式RTOS、OPC UA服务适配器和MEC技术，具有独立于底层通信协议的实时数据采集和边缘计算功能，支持5G空中接口、以太网接口、光网络接口、MODBUS总线接口、PROFIBUS总线接口、CAN总线接口、RS485接口、TCP/UDP和HART通信协议，实现数据的低延时安全传输和定位服务。

[0013] 所述系统机器视觉装置由线结构光发射装置和视觉感知单元组成，利用视觉感知单元采集矿井无人化综采工作面图像，通过线结构光几何三角三维数据获得矿井无人化综采工作面三维信息。

[0014] 所述系统通信接口由以太网接口、光网络接口、MODBUS总线接口、PROFIBUS总线接口、CAN总线接口、RS485接口、TCP/UDP和HART通信协议构成，采用5G空中接口、OPC UA工业标准通信协议完成矿井无人化综采工作面的数据采集与数据传输，并通过5G基站实现无线通信与定位功能。

[0015] 所述系统通信接口由5G通信模块、微传感器、总线接口、以太网接口和光网络接口构成，采用5G空中接口、OPC UA工业标准通信协议完成矿井无人化综采工作面的数据采集与数据传输，并通过5G基站实现无线通信与实时监控功能。

[0016] 所述系统采用卷积神经网络深度学习算法，对多源传感器感知数据、状态数据以及历史数据进行数据挖掘，通过训练和优化仿真模型实现数字孪生体的自学习和自优化，提高系统的智能监控精准性和鲁棒性。

[0017] 所述系统采用稀疏度自适应的压缩感知算法，对矿井无人化综采工作面物理实体的三维模型图像进行采样、压缩与重构，生成可视化三维仿真模型，改善监控图像的清晰度与抗噪性能。

[0018] 所述系统实现数字孪生智能监控的方法，包括如下步骤：

[0019] 步骤1，物理模型定义：选取物理实体作为建立三维可视化的物理模型，定义物理实体的几何属性、运动属性和功能属性，以及几何外形和机械结构，定义仿真模型迭代优化条件；

[0020] 步骤2，逻辑模型表示：建立可控制的逻辑模型，将物理模型映射到逻辑模型，通过图形化、形式化描述逻辑模型的组成要素、组织结构和运行机制，并通过逻辑模型将各要素

属性和行为反馈到物理模型,实现对物理模型的优化;

[0021] 步骤3,仿真模型建立:根据步骤1和步骤2,基于开源图形场景OSG构建可视化的仿真模型,实现物理实体的孪生对象可视化、孪生结构可视化和孪生过程可视化;

[0022] 步骤4,仿真模型优化:根据步骤3建立的仿真模型,基于实时和历史数据对仿真模型进行训练和优化,并将仿真结果反馈到物理模型;

[0023] 步骤5,仿真模型验证:利用模型相关性与相容性测量与评估算法对物理模型与仿真模型进行一致性与可靠性验证,如满足仿真模型的目标函数迭代优化条件,则执行步骤6,否则,执行步骤2;

[0024] 步骤6,数据模型构建:构建可计算的数据模型,通过数据采集、数据挖掘和数据决策体系,采用多源数据融合和深度学习算法,以及迭代优化和智能决策方法,实现物理实体与虚拟孪生体的数据镜像和数据交换;

[0025] 步骤7,数字孪生集成:集成物理模型、可控制逻辑模型、可视化仿真模型、和可计算数据模型,通过数据驱动与实时交互,实现无人化综采工作面物理实体与数字孪生体的数字孪生、双向通信和智能监控。

[0026] 所述系统实现数字孪生体的方法,包括如下步骤:

[0027] 步骤1,三维实体建模:利用三维建模工具建立机器人化采矿装置无人化综采工作面的物理实体三维模型,并采用有限元分析法求解三维模型的结构参数、几何参数、材料参数、状态参数及边界条件;

[0028] 步骤2,模型渲染优化:根据步骤1所获取的三维模型,使用3DsMax三维渲染工具对模型结构透视图或点云图进行渲染、添加材质,并对其边缘部分进行修补优化;

[0029] 步骤3,仿真场景构建:将步骤2渲染后的模型导入虚拟现实仿真引擎,使用其内置的物理引擎,基于开源图形场景OSG构建可视化仿真模型,实现数字孪生体可视化建模、生产过程和作业场景可视化展示与虚拟漫游;

[0030] 步骤4,数据处理:将物理实体的多源传感器数据作为输入,经多源数据融合后输出,据此驱动数字孪生体完成信息交换,并将传感器实时数据、历史数据及物理模型存储在云数据库中;

[0031] 步骤5,交互控制:智能网关内置OPC UA服务器,通过OPC UA、TCP/UDP、Web Service通信接口实现数据实时采集、远程通信和多源动态数据的实时更新,通过VR或AR人机接口和数据库接口,为用户提供Web Service服务,实现数字孪生体与物理实体的实时交互及虚拟监控。

[0032] 所述系统三维实体建模过程,进一步包括如下子步骤:

[0033] 步骤1,参数初始化:初始化无人化综采工作面物理实体的结构参数、几何参数、状态参数及边界条件;

[0034] 步骤2,有限元分析:采用有限元法求解计算,获取无人化综采工作面在三维动态优化中的结构参数、几何参数、状态参数及边界条件,得出其随状态变量变化的收敛条件;

[0035] 步骤3,收敛性评估:如果无人化综采工作面模型优化的目标函数随状态变量的变化而收敛,则获取无人化综采工作面模型的设计样本点,执行步骤4;否则,放弃对无人化综采工作面模型的设计样本采集,修订设计参数,返回执行步骤1;

[0036] 步骤4,目标函数优化:更新设计参数集并进行迭代计算,直至求得目标函数的局

部最优解为止,获取无人化综采工作面物理模型设计样本点的最优设计方案,计算结束。

[0037] 所述系统模型渲染优化过程,进一步包括如下子步骤:

[0038] 步骤1,获取三维场景中无人化综采工作面物理模型的透视图;

[0039] 步骤2,定义无人化综采工作面物理模型的表面颜色、透明度、粗糙度和纹理;

[0040] 步骤3,添加无人化综采工作面物理模型的材料参数、结构数据和几何数据及优化边界条件;

[0041] 步骤4,导入无人化综采工作面物理模型,使用3DsMax对其渲染,并对模型边缘进行渲染优化。

[0042] 所述系统场景仿真构建过程,进一步包括如下子步骤:

[0043] 步骤1,采用虚拟现实仿真引擎建立无人化综采工作面物理模型;

[0044] 步骤2,利用物理引擎的计算结果驱动图形渲染引擎进行渲染和绘制;

[0045] 步骤3,对无人化综采工作面物理模型旋转、平移和姿态进行解析,求解出其倾角、夹角、位置与运动状态变量之间的关系;

[0046] 步骤4,基于开源图形场景OSG构建可视化仿真模型,实现数字孪生体可视化建模、生产过程与作业场景可视化展示。

[0047] 所述系统对无人化综采工作面物理模型的结构参数和几何参数更新、优化,生成与物理实体1:1比例的数字孪生体三维模型,实现数据驱动下虚拟场景的同步运行与动态控制。

[0048] 所述系统具有对无人化综采工作面进行感知分析、仿真模拟、迭代优化与决策控制,并通过数字孪生体实现智能感知、远程控制、精确定位、实时监测、故障诊断和健康预测功能。

[0049] 所述数字孪生模型根据无人化综采工作面物理模型及其传感器历史数据和更新数据,利用云数据库实时同步多源传感器数据和运行状态,并通过通信接口实现数据传输、信息交互和远程监控。

[0050] 所述矿井无人化综采工作面包括井下无人开采工作面、井下智能开采工作面、井工及露天矿无人化开采工作面和机器人化采矿装备作业场景;矿井无人化综采工作面采矿装置包括采煤机器人、液压支架、刮板输送机和转载机,以及机器人化采矿装备。

[0051] 所述系统采用机器视觉装置包括可定位三维场景的高清摄像机、深度相机、CCD视觉传感器、CMOS视觉传感器和SCMOS探测器。

[0052] 所述系统实现数字孪生体的三维建模工具包括激光扫描仪、Creo parametric、UG NX或3DsMax,所述系统场景构建过程采用Unity3D物理引擎,具有实时渲染、碰撞检测、物理约束、粒子模拟和实时光影和视觉控制功能。

[0053] 所述系统智能网关、5G基站和机器视觉装置为本质安全型防爆装置。

[0054] 本发明的有益效果在于:

[0055] 该发明基于卷积网络深度学习算法,通过构建和集成物理模型、逻辑模型、仿真模型和数据模型,描述上述模型各阶段演化过程,基于数据驱动方式,发明了矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统。本发明解决了现有监控系统通信接口不统一、现场设备集成能力差、无法实时处理现场设备的信息数据和视频图像等问题。本发明通过数字孪生虚拟无人化综采工作面实现远程可视化智能监控,克服了矿井无人化综采工作面难以进行实

时监控、精准定位和设备健康预测等问题,提高了矿井无人化综采工作面监控的实时性、准确性和系统鲁棒性。

### 附图说明

[0056] 图1为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的组成结构示意图。

[0057] 图2为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的结构框图。

[0058] 图3为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的数字孪生模型图。

[0059] 图4为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的数据流程图。

[0060] 图5为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的点云图构建流程图。

[0061] 图6为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的仿真模型建立流程图。

[0062] 图7为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的实施例示意图。

### 具体实施方式

[0063] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合附图对本发明的具体实施方式进行详细描述。

[0064] 图1为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的组成结构示意图。参照图1所示,上述系统包括:物理实体(101)、数字孪生体(102)、智能网关(103)、网络交换机(104)、云服务器(105)、云数据库(106)、5G基站(107)、视频终端(108)、通信接口(109)和机器视觉装置(117)组成。

[0065] 其中,物理实体(101)为构建无人化综采工作面三维物理模型提供结构参数和几何参数,为建立仿真模型提供基础数据;数字孪生体(102)集成多物理、多尺度和动态概率仿真模型,在数字空间生成与物理实体1:1比例的可视化三维虚拟模型;智能网关(103),支持5G空中接口、以太网接口、光网络接口、MODBUS总线接口、PROFIBUS总线接口、CAN总线接口、RS485接口、TCP/UDP和HART通信协议,用于无人化综采工作面边缘计算和定位服务,处理、存储矿井无人化综采工作面实时位置信息;网络交换机(104),用于井下智能网关与地面通信网络的互联;云服务器(105)用于数据存储、分析与优化,为所述系统提供数据通信接口和大数据存储平台,实现对物理实体(101)的历史运行数据、传感器更新数据以及物理模型数据分布式存储管理;5G基站(107)内置或外接机器视觉装置(117)

[0066] (图中未示出),用于采集井下无人化综采工作面的图像信息,对监控目标进行立体标定和定位,为矿井无人化综采工作面提供无线通信与精确定位;视频终端(108)具有VR或AR人机接口,用于接收矿井无人化综采工作面的视频图像、实时数据和定位信息,并进行三维可视化显示;通信接口(109)包括微传感器、总线接口、5G空中接口、以太网接口和光网络接口,以及OPC UA工业标准接口、Web Service接口和ODBC数据库通信接口,为数字孪生体获取所述物理实体的运动状态和实时数据、实现二者双向通信和信息交互提供接口。

[0067] 图2为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的结构框图。参照图2所示,基于物理空间矿井无人化综采工作面与虚拟空间矿井无人化综采工作面信息物理映射关系,建立了上述数字孪生驱动的理论架构,包括物理空间、虚拟空间和数字孪生模型。其中,物理空间元素包括矿井无人化综采工作面物理对象、无人化综采工作面作业场景与工况状况、无人化综采工作面开采过程和无人化综采工作面采矿装置。虚拟空间元素包括的三维

物理模型、虚拟无人化综采工作面场景以及无人化综采工作面仿真模型,数字孪生模型包括对象孪生、过程孪生和性能孪生,孪生模型通过数据驱动动态优化仿真模型,实现矿井无人化综采工作面在物理空间与虚拟空间的信息交互,并对无人化综采工作面采矿装置进行数据分析与健康预测。

[0068] 图3为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的数字孪生模型图。如图3所示,一种矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的数字孪生模型演化步骤包括:(1)物理模型定义:选取物理实体作为建立三维可视化的物理模型,定义物理实体的几何属性、运动属性和功能属性,以及几何外形和机械结构,定义仿真分析和评估优化条件;(2)逻辑模型表示:建立可控制的逻辑模型,将物理模型映射到逻辑模型,通过图形化、形式化描述逻辑模型的组成要素、组织结构和运行机制,并通过逻辑模型将各要素属性和行为反馈到物理模型,实现对物理模型的优化;(3)仿真模型建立:基于开源图形场景OSG构建可视化的仿真模型,实现物理实体的孪生对象可视化、孪生结构可视化和孪生过程可视化;(4)仿真模型优化:根据步骤(3)建立的仿真模型,基于实时和历史数据对仿真模型进行训练和优化,并将仿真结果反馈到物理模型;(5)仿真模型验证:利用模型相关性与相容性测量与评估算法对物理模型与仿真模型进行一致性与可靠性验证,如满足仿真模型的目标函数迭代优化条件,则执行步骤(6),否则,执行步骤(2);(6)数据模型构建:构建可计算的数据模型,通过数据采集、数据挖掘和数据决策体系,采用多源数据融合和深度学习算法,以及迭代优化和智能决策方法,实现物理实体与虚拟孪生体的数据镜像和数据交换;(7)数字孪生集成:集成物理模型、可控制逻辑模型、可视化仿真模型和可计算数据模型,通过数据驱动与实时交互,实现无人化综采工作面物理实体与数字孪生体的数字孪生、双向通信和智能监控。

[0069] 图4为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统及方法的数据流程图。如图4所示,矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统及方法的数据流程包括:(1)3D建模:利用三维建模工具建立无人化综采工作面的物理实体三维模型,并采用有限元分析法求解三维模型的结构参数、几何参数、材料参数、状态参数及边界条件;(2)模型渲染:根据步骤(1)所获取的三维模型,使用3DsMax三维渲染工具对模型结构透视图或点云图进行渲染、添加材质,并对其边缘部分进行修补优化;(3)仿真模型构建:将步骤(2)渲染后的模型导入虚拟现实仿真引擎,使用其内置的物理引擎,基于开源图形场景OSG构建可视化仿真模型,实现数字孪生体可视化建模、生产过程和作业场景虚拟展示;(4)数据融合:将物理实体的多源传感器数据和仿真模型的监控数据作为输入,经多源数据融合后输出,据此驱动数字孪生体完成与物理实体的信息交换,并将传感器实时数据、历史数据及仿真模型的融合数据存储于云数据库中;(5)交互控制:智通过OPC UA、TCP/UDP、Web Service通信接口实现数据实时采集、远程通信和多源动态数据的实时更新,通过人机接口和数据库接口,通过视频终端为用户提供Web Service服务,实现矿井无人化综采工作面数字孪生体与物理实体的实时交互及虚拟监控。

[0070] 图5为为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的点云图构建流程图。如图5所示,上述系统可视化点云图构建流流程主要包括:(1)参数初始化:初始化无人化综采工作面物理实体的结构参数、几何参数、状态参数及边界条件;(2)有限元分析:采用有限元法求解计算,获取无人化综采工作面在三维动态优化中的结构参数、几何参数、状态参数及

边界条件,得出其随状态变量变化的收敛条件;(3)收敛性评估:如果无人化综采工作面模型优化的目标函数随状态变量的变化而收敛,则获取无人化综采工作面模型的设计样本点,执行步骤(4);否则,放弃对无人化综采工作面模型的设计样本采集,修订设计参数,返回执行步骤(1);(4)目标函数优化:更新设计参数集并进行迭代计算,直至求得目标函数的局部最优解为止;(5)获取无人化综采工作面物理模型点云图,并对点云图进行滤波,输出可视化模型。

[0071] 图6为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的仿真模型流程图。如图6所示,上述系统的仿真模型构建流程主要包括:(1)获取三维场景中无人化综采工作面物理模型的透视图;(2)定义无人化综采工作面物理模型的表面颜色、透明度、粗糙度和纹理;(3)添加无人化综采工作面物理模型的材料参数、结构数据和几何数据及优化边界条件;(4)导入无人化综采工作面物理模型,使用3DsMax对其渲染,并对模型边缘进行渲染优化;(5)输出渲染模型,使用Unity3D物理引擎的计算结果驱动图形渲染引擎进行渲染和绘制;(6)对无人化综采工作面物理模型旋转、平移和姿态进行解析,求解出其倾角、夹角、位置与运动状态变量之间的关系;(7)基于开源图形场景OSG构建可视化仿真模型;(8)对仿真模型进行优化和验证,如果满足优化迭代条件,则输出仿真模型,否则,继续迭代,指导满足迭代优化条件为止。

[0072] 图7为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控系统的实施例示意图。参照图7所示,实施例逻辑结构主要由物理空间无人化综采工作面、虚拟空间数字孪生无人化综采工作面、数字孪生模型和数字孪生组成。其中,数字孪生模型由物理模型、逻辑模型、数据模型和仿真模型演化集成。数字孪生包括对象孪生、过程孪生和性能孪生。本实施例基于综采工作面智能监控系统的设计理论方法和底层运行模型,通过物理无人化综采工作面和虚拟数字孪生工作面在对象要素级、生产过程级和设备性能级实现对象孪生、过程孪生和性能孪生,实现双向映射与实时交互,以及根据无人化综采工作面孪生数据库、历史数据和装备实时运行数据的实时更新,实现物理无人化综采工作面与虚拟无人化综采工作面的全要素、全流程、全数据集成和数据融合。在无人化综采工作面孪生数据的驱动下,实现无人化综采工作面生产要素管理、生产过程预仿真、设备性能实时监控等在物理无人化综采工作面、虚拟无人化综采工作面、无人化综采工作面孪生数据与数字孪生监控系统的迭代运行,从而在满足特定地质条件的约束前提下,达到无人化综采工作面生产系统配置和装备协同安全高效开采的目的。

[0073] 显然,本领域的技术人员应该明白,本发明及上述实施例所涉及数字孪生监控系统及方法各组成功能,除作为矿井无人化综采工作面数字孪生智能监控应用于煤矿井下环境外,通过适当集成或改进后也适用于非金属和金属等非煤矿山场景的数字孪生智能监控、目标跟踪与精确定位,以及安全监控领域目标跟踪与精确定位。这样本发明不限制除煤矿井下无人化综采工作面数字孪生智能监控之外的非煤矿山无人化综采工作面等场景实时监控、目标跟踪和精确定位等通信技术领域。

[0074] 以上内容是结合具体的优选实施例方式对本发明所做的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明设计思路的前提下,还可进行若干简单的替换和更改,都应当视为属于本发明所提交的权利要求书所涉及的保护范围。

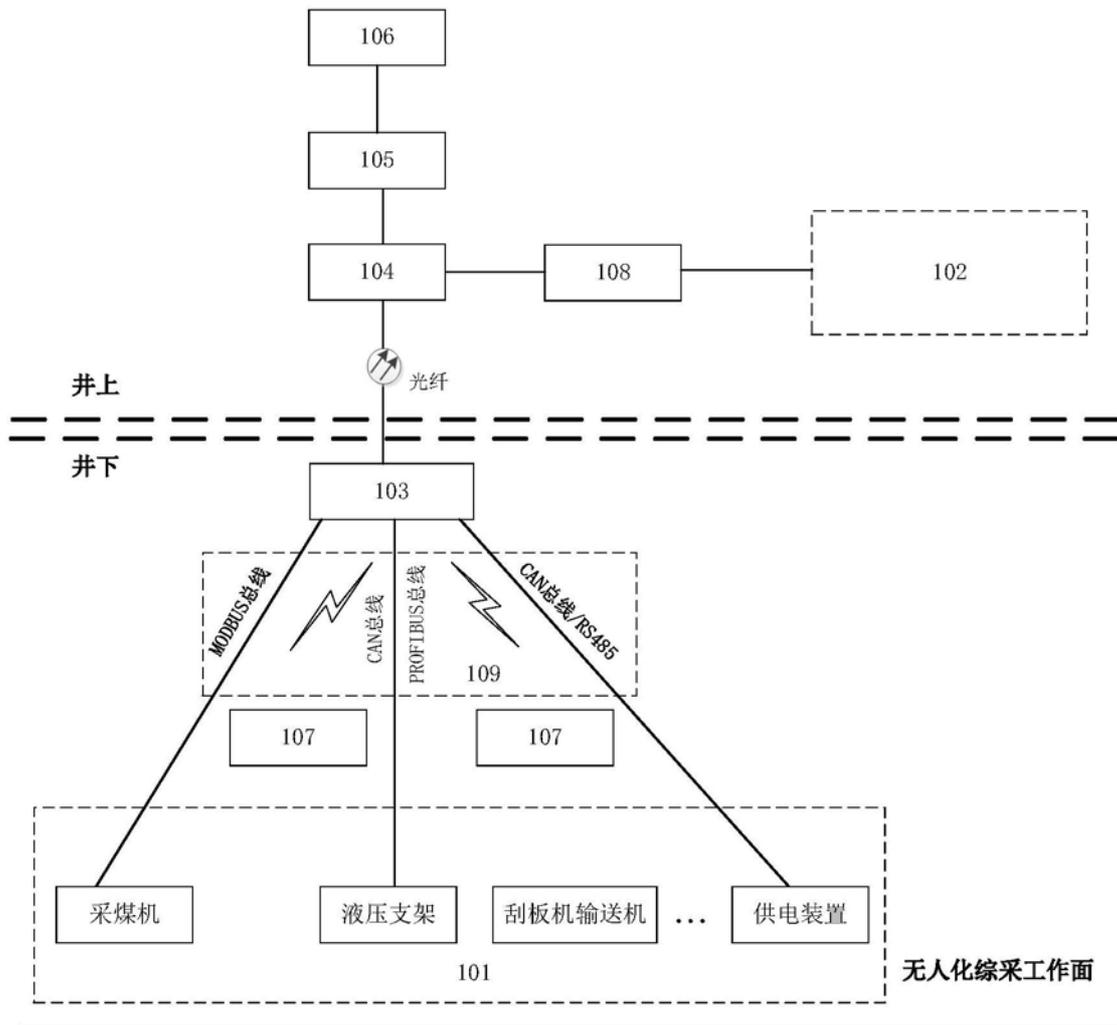


图1

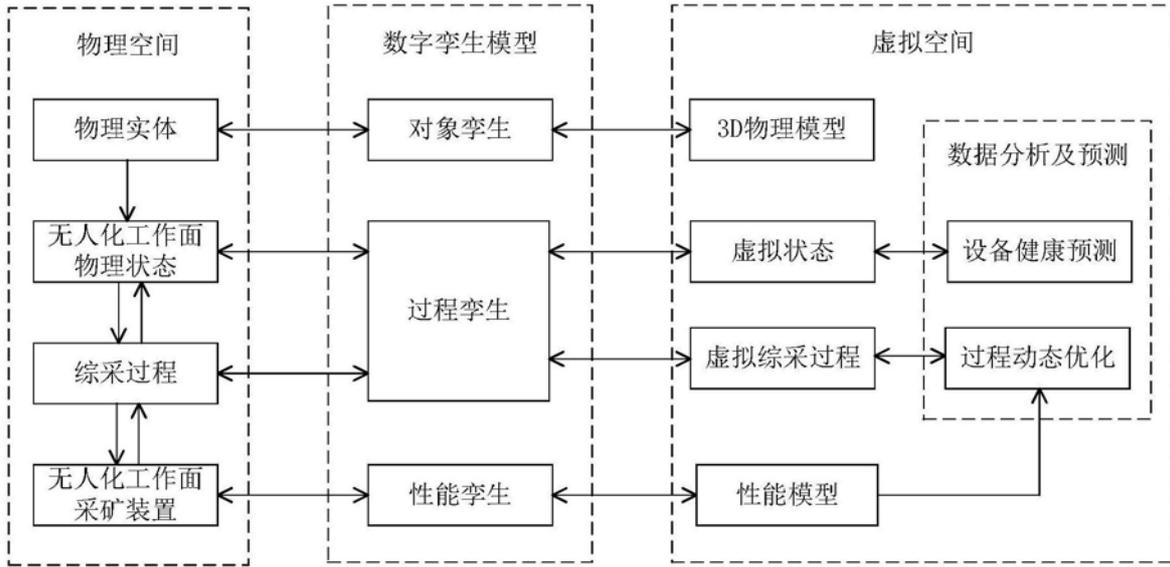


图2

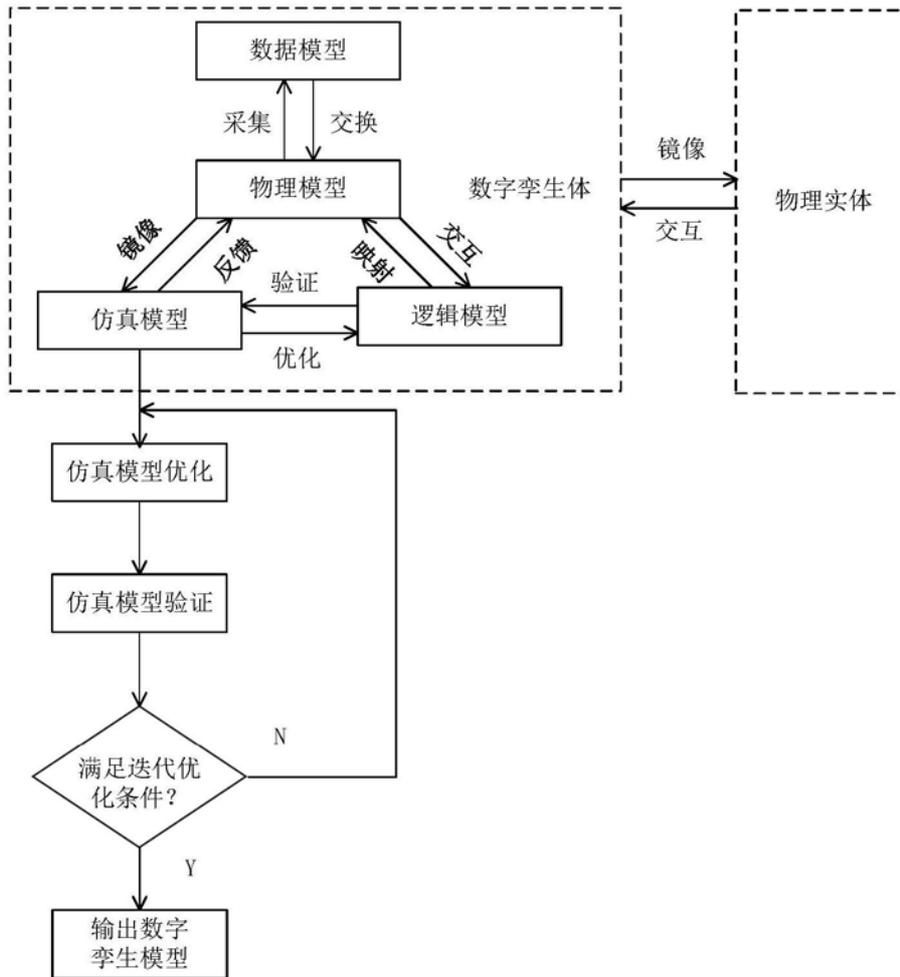


图3

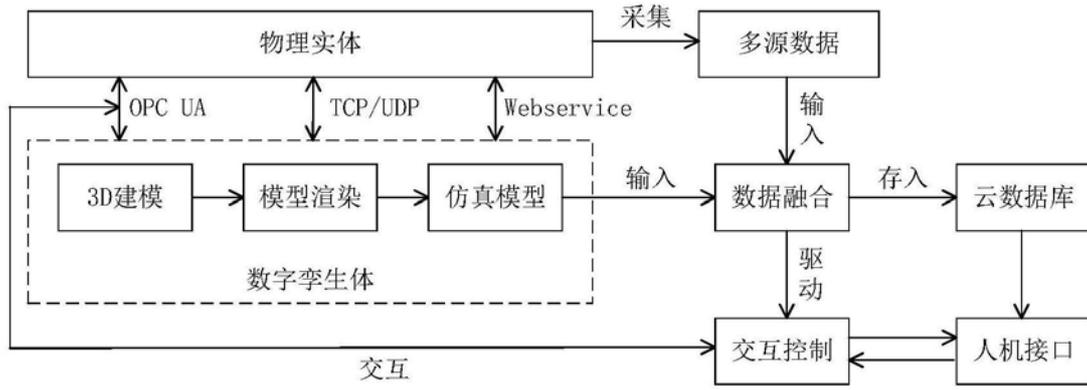


图4

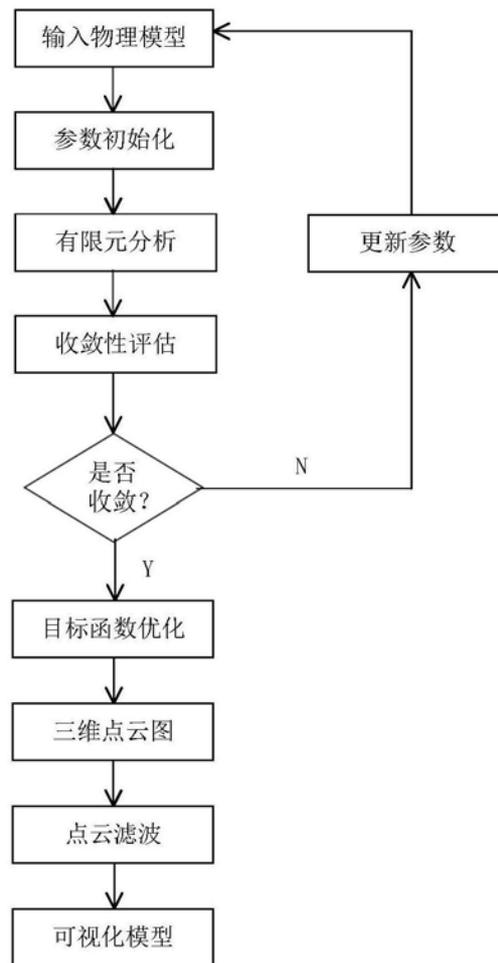


图5

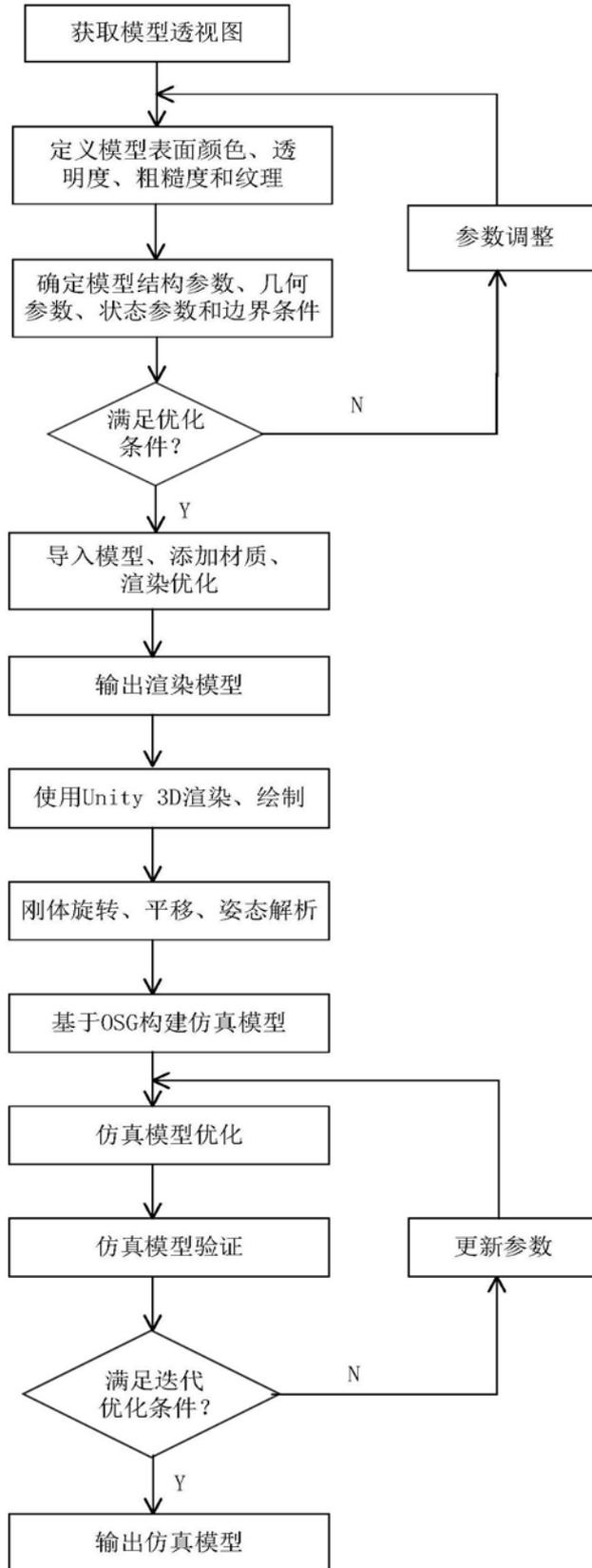


图6

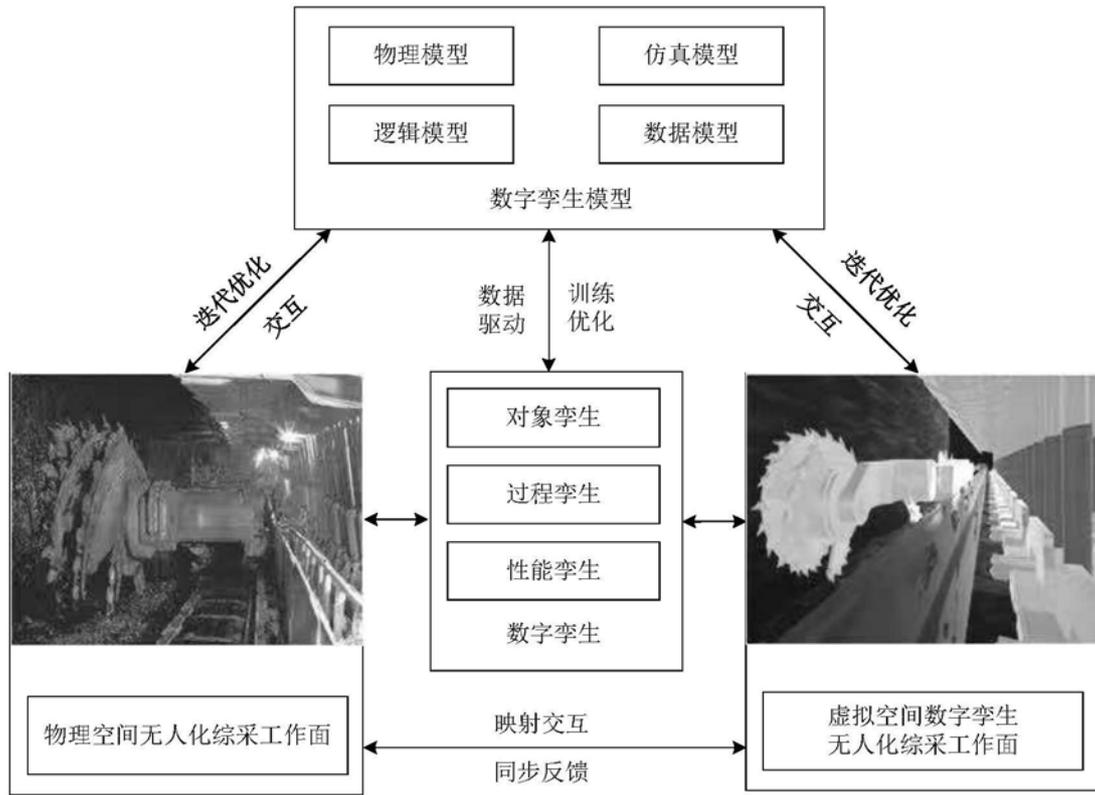


图7