



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115544684 A
(43) 申请公布日 2022. 12. 30

(21) 申请号 202211218753.0
(22) 申请日 2022.10.07
(71) 申请人 北京工业大学
地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号
(72) 发明人 赵雪锋 厉望秉
(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203
专利代理师 王兆波
(51) Int. Cl.
G06F 30/17 (2020.01)
G06F 30/23 (2020.01)
G06F 111/18 (2020.01)
G06F 119/14 (2020.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,首先解构两端固支梁;VisualStudio创建机理计算引擎;Unity建立有限元仿真虚拟载体;Unity定义空间网格化色度填充方法;基于人机交互构建混合现实可视化系统;VisualStudio编译项目为ARM64格式并连接HoloLens2进行发布;现场佩戴HoloLens2设备,进行两端固支梁原位实时受力有限元仿真。本发明解决了在工程现场难以脱离桌面端软件针对两端固支梁构件进行原位实时受力有限元仿真的问题,基于混合现实设备算力实现两端固支梁构件基于原位实时属性参数的力场有限元仿真,同时实现基于混合现实的真实空间内在物理机理的呈现。本发明可为土木工程及智能建造领域的原位实时力场仿真与分析提供更加高效实用的方法。



1. 一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,该体系包括如下步骤:

步骤1,解构两端固支梁;

步骤2,Visual Studio创建机理计算引擎;

步骤3,Unity建立有限元仿真虚拟载体;

步骤4,Unity定义空间网格化色度填充方法;

步骤5,基于人机交互构建混合现实可视化系统;

步骤6,Visual Studio编译项目为ARM64格式并连接HoloLens 2进行发布;

步骤7,现场佩戴Hololens2设备,进行两端固支梁原位实时受力有限元仿真。

2. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤1中,依次执行如下步骤:

步骤1.1:明确两端固支梁的物理属性参数和状态属性参数范围;

步骤1.2:建立两端固支梁的属性集;

步骤1.3:基于C#语言编写属性集参数获取路径。

3. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤2中,在Visual Studio中依次可执行如下步骤:

步骤2.1:有限元仿真方法原理解析;

步骤2.2:选择基于弹性力学的有限元仿真解析表达式;

步骤2.3:基于C#语言编写有限元仿真解析表达式。

4. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤3中,可在Unity引擎中依次执行如下步骤:

步骤3.1:根据属性集参数基于Unity建立两端固支梁虚拟载体;

步骤3.2:划分两端固支梁虚拟载体网格;

步骤3.3:计算网格计算中点坐标。

5. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤4中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:

步骤4.1:在Unity中调用预制体模块;

步骤4.2:在Unity中创建色阶材质球;

步骤4.3:定义预制体、材质球、虚拟载体网格匹配关系。

6. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤5中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:

步骤5.1:在Unity中配置混合现实开发环境;

步骤5.2:在Unity中建立原位实时属性参数交互界面;

步骤5.3:在Unity中建立有限元仿真类型选择交互界面;

步骤5.4:在Unity中建立虚实交互界面。

7. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤6中,用Visual Studio打开所保存的项目,将项目编译为与HoloLens 2合适的格式,并发布成安装包;连接HoloLens 2,部署并调试HoloLens2的使用环境,将HoloLens设置为使用Windows设备门户,通过Wi-Fi连接HoloLens 2设备,进行项目发布。

8. 如权利要求1所述的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,其特征在于,在步骤7中,在工程现场佩戴HoloLens 2设备,依靠混合现实设备HoloLens 2实现两端固支梁基于原位实时属性参数的力场有限元仿真,避免在工程现场使用桌面端有限元仿真软件,并在真实空间内任意移动,结合真实两端固支梁的现场条件进行原位实时观察与分析;同时实现基于混合现实的真实空间内在物理机理的呈现。

一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法

技术领域

[0001] 本发明涉及土木工程及智能建造领域,特别涉及一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法。

背景技术

[0002] 有限元仿真作为数值模拟的常用技术,长期在土木工程及智能建造领域得到广泛且深入的应用。虽然目前这些有限元仿真工具功能很强大,但整个有限元仿真的前处理、求解、后处理流程都基于桌面端程序展开,给有限元仿真工具的充分利用造成了一定的挑战:1) 两端固支梁只能通过远程仿真,无法结合两端固支梁的现场条件进行原位实时受力仿真;2) 传统的有限元仿真通常在纯虚拟的计算环境中进行,隔绝了工程师对于尺度、方向等真实物理空间的感知;3) 传统的有限元仿真通常为两端固支梁的预演计算仿真或反演计算仿真,不能根据两端固支梁的实时物理属性参数和状态属性参数进行原位实时的受力仿真。因此,实现基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真具有重要的现实意义。

[0003] MR (MixedReality,混合现实) 技术作为物理与数字交互领域中的新兴技术,可以结合真实和虚拟世界创造新的环境和可视化,形成一个人、计算机、环境相结合的混合现实空间,使人可以结合计算机数字信息加强对真实环境的理解。在这个新的可视化环境里物理和数字对象可实现共存,并可在该环境中将虚拟世界与现实世界进行模型交互与信息获取,实现虚拟与现实的实时互动,增强用户体验的真实感。有限元仿真与MR的结合可以将二维显示屏中的虚拟仿真结果信息展现在现实的三维场景当中,实现数字空间虚拟信息与真实环境间的直观交互。将其应用在土木工程及智能建造领域,结合有限元仿真技术,可以实现两端固支梁基于原位实时属性参数的力场有限元仿真,避免在工程现场使用桌面端有限元仿真软件,同时可以实现基于混合现实的真实空间内在物理机理的呈现。

发明内容

[0004] 为利用有限元仿真技术与MR技术实现两端固支梁基于原位实时属性参数的力场有限元仿真,本发明提供一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,该方法包括以下步骤:

[0005] 步骤1,解构两端固支梁。

[0006] 步骤2,Visual Studio创建机理计算引擎。

[0007] 步骤3,Unity建立有限元仿真虚拟载体。

[0008] 步骤4,Unity定义空间网格化色度填充方法。

[0009] 步骤5,基于人机交互构建混合现实可视化系统。

[0010] 步骤6,Visual Studio编译项目为ARM64格式并连接HoloLens 2进行发布。

[0011] 步骤7,现场佩戴Hololens2设备,进行两端固支梁原位实时受力有限元仿真。

[0012] 进一步,在步骤1中,依次可执行如下步骤:

[0013] 步骤1.1:明确两端固支梁的物理属性参数和状态属性参数范围;

- [0014] 步骤1.2:建立两端固支梁的属性集;
- [0015] 步骤1.3:基于C#语言编写属性集参数获取路径。
- [0016] 进一步,在步骤2中,可在Visual Studio中依次可执行如下步骤:
- [0017] 步骤2.1:有限元仿真方法原理解析;
- [0018] 步骤2.2:选择基于弹性力学的有限元仿真解析表达式;
- [0019] 步骤2.3:基于C#语言编写有限元仿真解析表达式。
- [0020] 进一步,在步骤3中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:
- [0021] 步骤3.1:根据属性集参数基于Unity建立两端固支梁虚拟载体;
- [0022] 步骤3.2:划分两端固支梁虚拟载体网格;
- [0023] 步骤3.3:计算网格计算中点坐标。
- [0024] 进一步,在步骤4中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:
- [0025] 步骤4.1:在Unity中调用预制体模块;
- [0026] 步骤4.2:在Unity中创建色阶材质球;
- [0027] 步骤4.3:定义预制体、材质球、虚拟载体网格匹配关系。
- [0028] 进一步,在步骤5中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:
- [0029] 步骤5.1:在Unity中配置混合现实开发环境;
- [0030] 步骤5.2:在Unity中建立原位实时属性参数交互界面;
- [0031] 步骤5.3:在Unity中建立有限元仿真类型选择交互界面;
- [0032] 步骤5.4:在Unity中建立虚实交互界面。
- [0033] 进一步,在步骤6中,用Visual Studio打开所保存的项目,将项目编译为与HoloLens 2合适的格式(ARM64格式),并发布成安装包。连接HoloLens 2,部署并调试HoloLens 2的使用环境,将HoloLens设置为使用Windows设备门户,通过Wi-Fi连接HoloLens 2设备,进行项目发布。
- [0034] 进一步,在步骤7中,在工程现场佩戴HoloLens 2设备,可以依靠混合现实设备HoloLens2实现两端固支梁基于原位实时属性参数的力场有限元仿真,避免在工程现场使用桌面端有限元仿真软件,并可在真实空间内任意移动,结合真实两端固支梁的现场条件进行原位实时观察与分析;同时实现基于混合现实的真实空间内在物理机理的呈现。
- [0035] 本发明的优点及积极效果为:
- [0036] (1) 利用Unity引擎+自主研发算法的方式,实现了两端固支梁的属性集、有限元仿真机理计算引擎、有限元仿真虚拟载体、空间网格化色度填充方法的构建;
- [0037] (2) 通过将自主研发算法、基于人机交互的可视化系统封装至HoloLens 2设备中,在真实空间中直接获取两端固支梁的属性参数,利用混合现实设备HoloLens 2的算力直接进行原位实时受力有限元仿真;
- [0038] (3) 利用混合现实设备HoloLens 2将原位实时受力有限元仿真结果信息以3D的形式展现在现实的三维场景当中,并可在真实空间内任意移动,结合真实两端固支梁的现场条件进行原位实时观察与分析,以解决难以根据两端固支梁的实时物理属性参数和状态属性参数进行原位实时的受力仿真的现实问题。
- [0039] 基于此,基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,将先进的数字化虚拟现实技术结合并应用到两端固支梁原位实时受力有限元仿真当中,在实现将数字空间虚拟

信息与真实环境间的直观交互的同时,可以在真实空间中直接获取两端固支梁的属性参数,直接基于混合现实设备HoloLens 2的算力进行原位实时受力有限元仿真,可以很好地避免在工程现场使用桌面端有限元仿真软件,并可结合真实两端固支梁的现场条件进行原位实时观察与分析,实现基于混合现实的真实空间内在物理机理的呈现;同时本发明实现了基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真,可为两端固支梁的设计、施工、运维提供力场参考,为土木工程及智能建造领域的力场仿真与分析提供更加高效实用的方法,促进土木工程及智能建造的可持续发展。

附图说明

[0040] 通过结合以下附图所作的详细描述,本发明的上述和/或其他方面和优点将变得更清楚和更容易理解,此附图只是示意性的,并不限制本发明,其中:

[0041] 图1是基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法流程图。

[0042] 图2是两端固支梁属性集示例图。

[0043] 图3是基于C#语言编写属性集参数获取路径示例图。

[0044] 图4是Unity引擎中读取两端固支梁属性集参数示例图。

[0045] 图5是两端固支梁虚拟载体网格示例图。

[0046] 图6是自主研发算法中循环迭代计算网格中点坐标示例图。

[0047] 图7是Unity引擎预制体“Cube”示例图。

[0048] 图8是Unity引擎中色阶材质球示例图。

[0049] 图9是材质球、虚拟载体网格匹配关系示例图。

[0050] 图10是在Unity引擎中配置混合现实开发环境示例图。

[0051] 图11是原位实时属性参数虚拟现实交互界面示例图。

[0052] 图12是有限元仿真类型选择交互界面示例图。

[0053] 图13是在工程现场佩戴HoloLens 2设备操作示例图。

[0054] 图14是基于HoloLens 2的两端固支梁原位实时受力有限元仿真示例图。

具体实施方式

[0055] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步详细的说明。

[0056] 如图1所示,本发明提供一种基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,该方法包括以下步骤:

[0057] 步骤1,解构两端固支梁。

[0058] 步骤2,Visual Studio创建机理计算引擎。

[0059] 步骤3,Unity建立有限元仿真虚拟载体。

[0060] 步骤4,Unity定义空间网格化色度填充方法。

[0061] 步骤5,基于人机交互构建混合现实可视化系统。

[0062] 步骤6,Visual Studio编译项目为ARM64格式并连接HoloLens 2进行发布。

[0063] 步骤7,现场佩戴Hololens2设备,进行两端固支梁原位实时受力有限元仿真。

[0064] 进一步,在步骤1中,依次可执行如下步骤:

[0065] 步骤1.1:根据有限元仿真需求,明确两端固支梁的物理属性参数和状态属性参数范围,物理属性又分为几何属性和材料属性;几何属性主要用来描述与工程构件外形相关的形状和截面几何性质,分为形状参数和截面几何性质参数;材料属性是对真实工程构件物理性质的描述,在有限元仿真中直接决定工程构件对于环境变化的响应;状态属性主要用来描述工程构件在真实环境中所处的状态;

[0066] 步骤1.2:按照步骤1.1对两端固支梁物理属性参数和状态属性参数范围的分类方式,建立两端固支梁的属性集,如图2所示;

[0067] 步骤1.3:在Visual Studio中基于C#语言编写属性集参数获取路径,明确两端固支梁的属性集的输入量,本发明采用两端固支梁的长度、高度、荷载分布及大小、泊松比作为输入量,在Visual Studio中采用以下方式实现:“public double b”“public double h”“public double q”“public double poisson”,如图3所示。

[0068] 进一步,在步骤2中,可在Visual Studio中依次可执行如下步骤:

[0069] 步骤2.1:对有限元仿真方法原理解析:有限元分析的核心是针对复杂几何域的分片函数逼近,用分段拼接方法构造试函数。将复杂几何全域进行离散化形成标准化的单元,针对标准化的单元进行节点描述和单元上的场描述;

[0070] 步骤2.2:本发明使用通过封装有限元仿真机理的方式构建机理计算引擎,进行工程构件的有限元仿真,本发明考虑的两端固支梁为土木工程领域中的基本构件,较为规则,因此本发明考虑根据弹性力学方法结合两端固支梁的属性集参数特点对其进行一定的简化,将三维问题简化为二维平面问题进行分析,同时保留工程构件的主要特点,采用基于弹性力学的有限元仿真解析表达式,具体的表达式如下:

$$[0071] \quad \sigma_x = \frac{2ql^2}{h^3}(l^2 - 3x^2)y + \frac{4qy^3}{h^3} - \frac{3(2 + \mu)q}{2h} - \frac{\mu q}{2}$$

$$[0072] \quad \sigma_y = \frac{-2qy^3}{h^3} + \frac{3qy}{2h} - \frac{q}{2}$$

$$[0073] \quad \tau_{xy} = \frac{6qxy^2}{h^3} - \frac{3qx}{2h}$$

$$[0074] \quad \sigma_e = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_y)^2 - 3(\sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2)};$$

[0075] 步骤2.3:在Visual Studio中基于C#语言编写有限元仿真解析表达式,采用以下方式实现:“double sigmax=2*q*(b/2)*(b/2)*y*(b*b/4-3*x*x)/h/h/h+4*q*y*y*y/h/h/h-3*q*(2+poisson)/2/h-poisson*q/2”“double sigmay=-2*q*y*y*y/h/h/h+3*q*y/h/2-q/2”“double sigmaxy=6*q*x*y*y/h/h/h-3*q*x/2/h”“double middle=(sigmax+sigmay)*(sigmax+sigmay)-3*(sigmax*sigmay-sigmaxy*sigmaxy)”“double sigmamises=System.Math.Pow(middle,0.5)”。

[0076] 进一步,在步骤3中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:

[0077] 步骤3.1:在Unity引擎中读取步骤1.3中定义的两端固支梁属性集参数,如图4所示,并根据属性集参数基于Unity建立两端固支梁虚拟载体,调用Unity引擎“GameObject anothercube”的指令方式实现;

[0078] 步骤3.2:根据计算精度的需求以及混合现实设备HoloLens 2算力的限制条件,对

两端固支梁虚拟载体网格进行适当划分,采用以下方式实现:“double B3=b/0.01”“double H3=h/0.01”,如图5所示;

[0079] 步骤3.3:在Visual Studio自主研发算法中采用循环迭代计算的形式,分别从网格的纵向和横向计算网格中点坐标,如图6所示。

[0080] 进一步,在步骤4中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:

[0081] 步骤4.1:在Unity引擎中调用预制体模块,按照步骤3.2划分的两端固支梁虚拟载体网格尺寸创建相应尺度的预制体“Cube”,并赋予预制体“Cube”材质球,如图7所示;

[0082] 步骤4.2:在Unity引擎中创建色阶材质球,将两端固支梁有限元仿真结果的数值区间划分14个梯度区间,并按照由红“255,0,0”到蓝“0,0,255”的颜色梯度均匀创建14个对应的材质球,如图8所示;

[0083] 步骤4.3:在Unity引擎中根据网格坐标点在有限元仿真机理计算引擎中得到的网格受力有限元仿真结果数据通过与材质球对应数值区间的比对,赋予两端固支梁虚拟载体网格正确且对应的颜色材质球,如图9所示。

[0084] 进一步,在步骤5中,可在Unity引擎中依次可执行如下步骤:

[0085] 步骤5.1:在Unity引擎中利用MixedRealityFeatureTool工具导入Microsoft MRTK 工具包,主要包括“Mixed Reality Toolkit Examples”“Mixed Reality Toolkit Extensions”“Mixed Reality ToolkitUtilities”“MixedReality ToolkitTools”资源包,完成混合现实开发环境配置,如图10所示;

[0086] 步骤5.2:在Unity引擎中调用MRTKUGUI InputField组件建立原位实时属性参数输入虚拟现实交互界面,实现在真实空间中直接获取两端固支梁的属性参数功能,如图11所示;

[0087] 步骤5.3:在Unity引擎中调用Button组件根据步骤2.2有限元仿真机理计算引擎计算内容,结合按钮事件“On Click()”功能,建立有限元仿真类型选择交互界面,主要分为 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} 、 σ_e 四个计算模块,如图12所示;

[0088] 步骤5.4:在Unity引擎中建立虚实交互界面,实现对于受力有限元仿真虚拟对象的抓取、移动、旋转和缩放功能,此步骤需要将“NearInteractionGrabbable.cs”“ManipulationHandler.cs”“BoundingBox.cs”“Interactable.cs”脚本挂载至Unity引擎中。。

[0089] 进一步,在步骤6中,用Visual Studio打开所保存的项目,将项目编译为与HoloLens 2合适的格式(ARM64格式),并发布成安装包。连接HoloLens 2,部署并调试HoloLens 2的使用环境,将HoloLens设置为使用Windows设备门户,通过Wi-Fi连接HoloLens 2设备,进行项目发布。

[0090] 进一步,在步骤7中,在工程现场佩戴HoloLens 2设备,如图13所示,可以依靠混合现实设备HoloLens 2实现两端固支梁基于原位实时属性参数的力场有限元仿真,如图14所示,避免在工程现场使用桌面端有限元仿真软件,并可在真实空间内任意移动,结合真实两端固支梁的现场条件进行原位实时观察与分析;同时实现基于混合现实的真实空间内在物理机理的呈现。

[0091] 本发明提供的基于FEA-MR的两端固支梁原位实时受力仿真方法,将有限元仿真分析方法和混合现实技术融合应用到土木工程及智能建造的力场仿真与分析当中;采用自主

研发C#脚本的形式,利用Unity引擎和HoloLens 2设备实现基于混合现实设备算力的两端固支梁原位实时受力有限元仿真,避免在工程现场使用桌面端有限元仿真软件,实现基于混合现实设备算力的有限元仿真,同时实现混合现实对真实空间内在物理机理的呈现;解决在工程现场难以脱离桌面端软件针对两端固支梁进行原位实时受力有限元仿真的问题;本发明可为两端固支梁的设计、施工、运维提供力场参考,为土木工程及智能建造领域的力场仿真与分析提供更加高效实用的方法,促进土木工程及智能建造的可持续发展。

[0092] 本发明不局限于上述实施方式,任何人在本发明的启示下都可得出其他各种形式的产品,但不论在其形状或结构上作任何变化,凡是具有与本申请相同或相近似的技术方案,均落在本发明的保护范围之内。

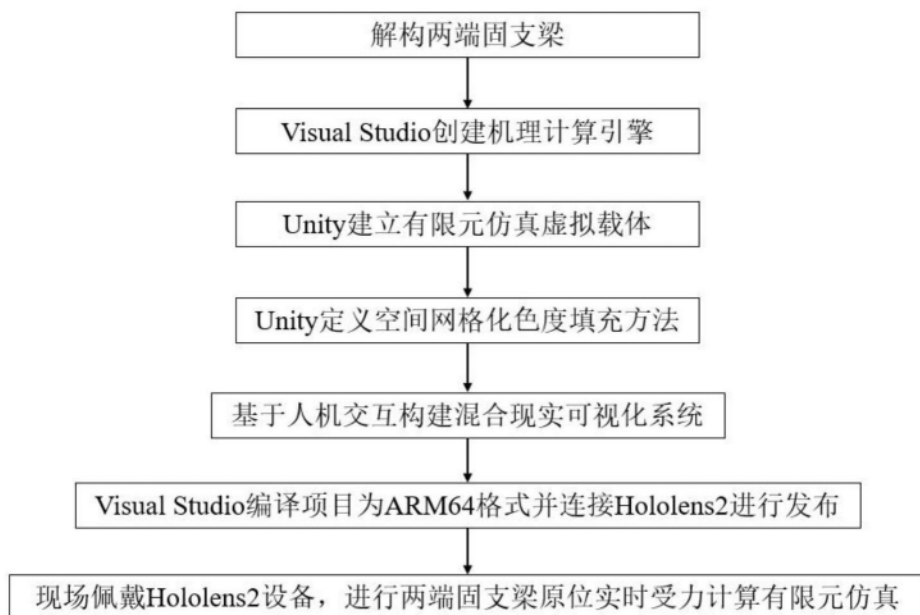


图1



图2

```
public double b ;  
public double h ;  
public double q ;  
public double poisson ;
```

图3

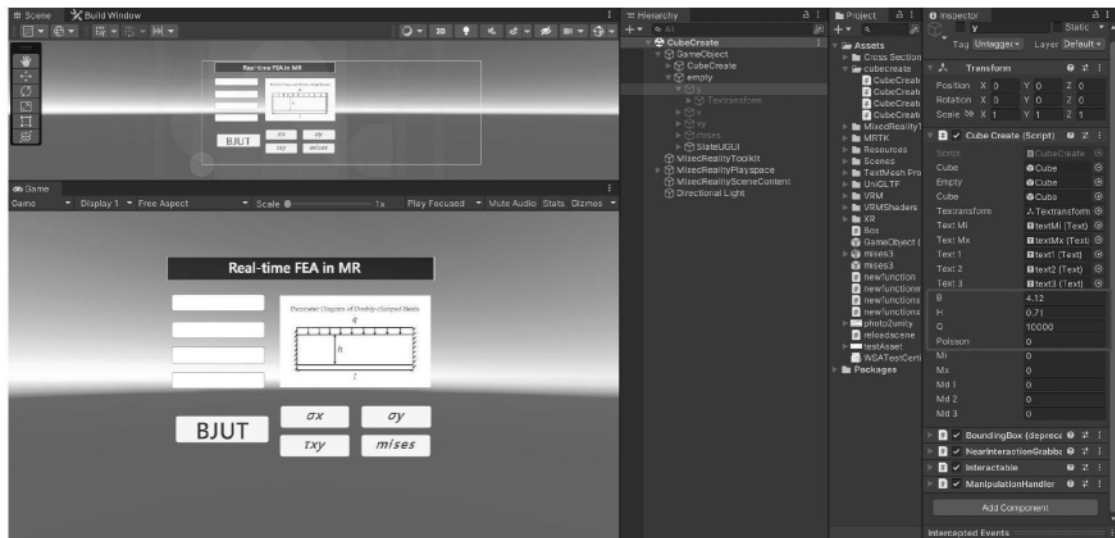


图4



图5

```
for (int p1 = 0; p1 < B; p1++)  
{  
    for (int q1 = 0; q1 < H; q1++)  
    {  
        ...  
    }  
}
```

图6

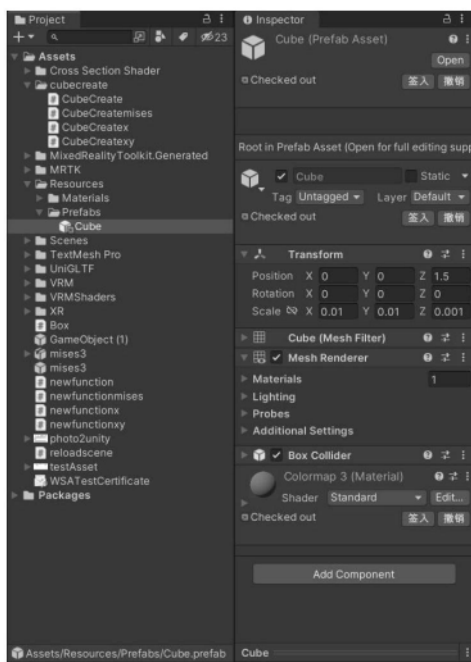


图7

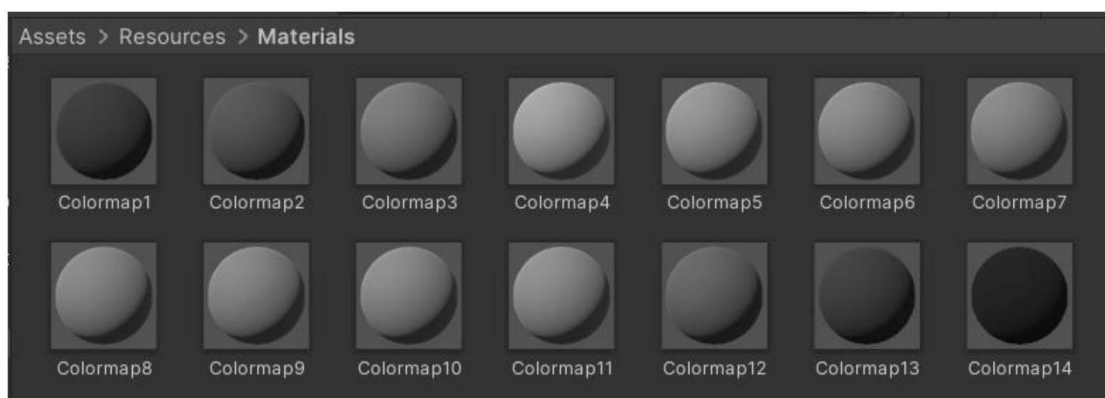


图8

```

if (value == 0)
{
    cube.GetComponent<MeshRenderer>().material = Resources.Load<Material>("Materials/Colormap1"); // Specify the material
}

```

图9

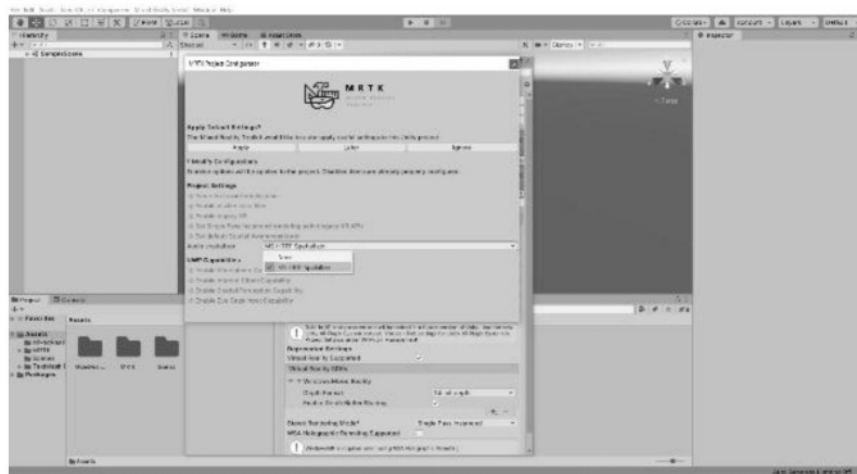


图10

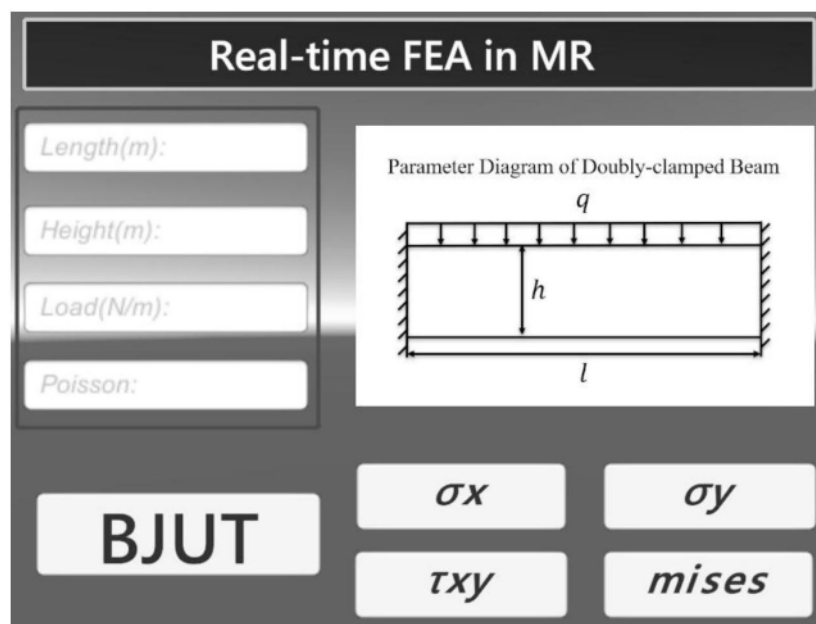


图11

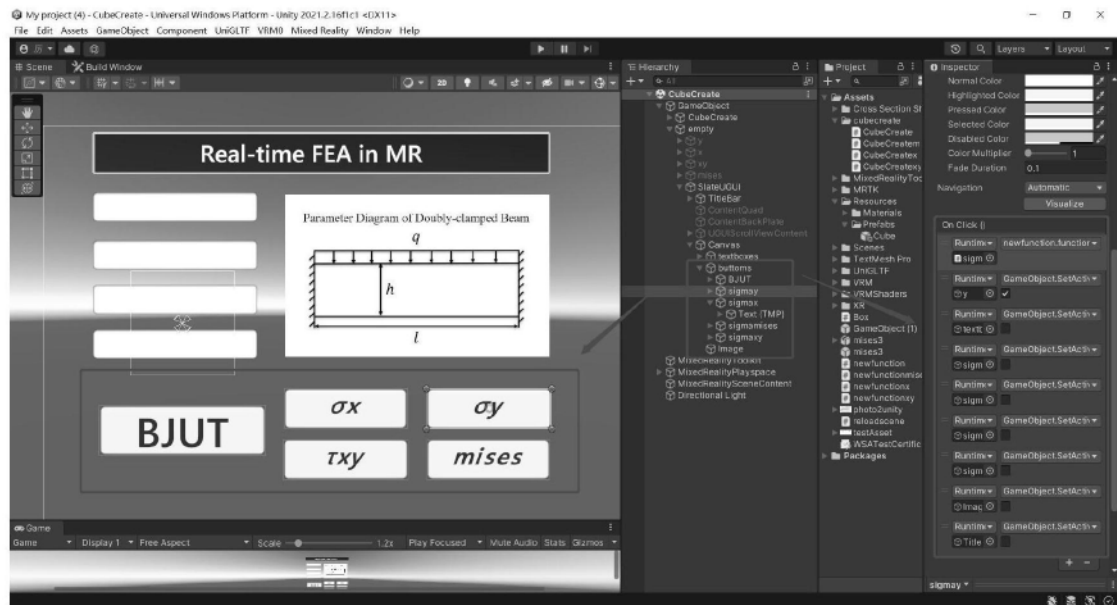


图12



图13

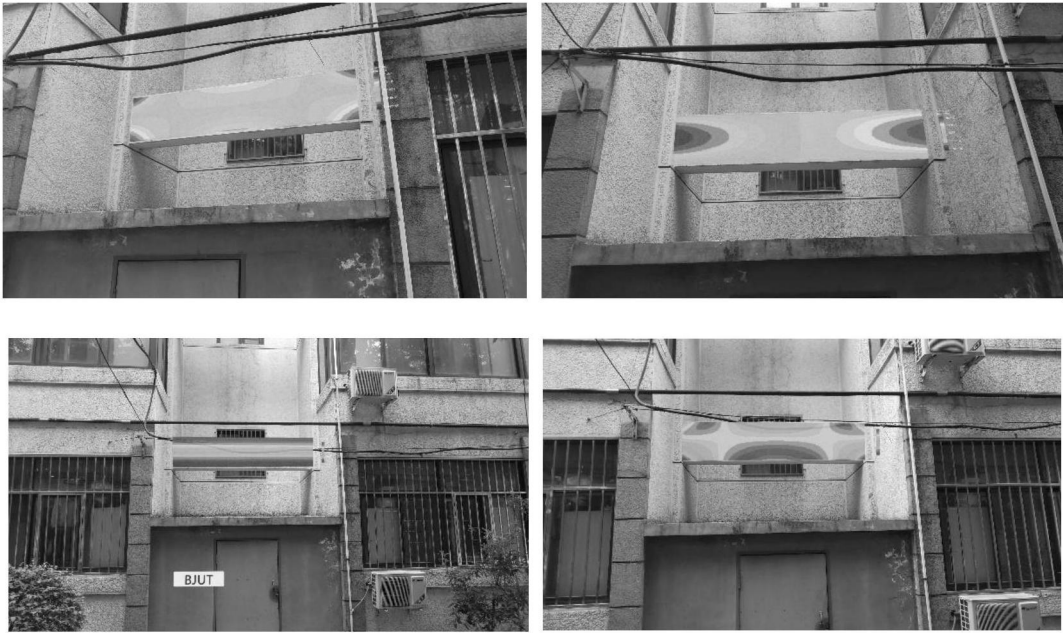


图14