



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107291973 B

(45) 授权公告日 2023.05.23

(21) 申请号 201710231875.6

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2017.04.11

G06F 30/20 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107291973 A

(56) 对比文件

CN 103886124 A, 2014.06.25

(43) 申请公布日 2017.10.24

CN 104769970 A, 2015.07.08

(30) 优先权数据

US 2014267228 A1, 2014.09.18

15/096,887 2016.04.12 US

US 2005171745 A1, 2005.08.04

(73) 专利权人 达索系统西姆利亚公司

US 2003179218 A1, 2003.09.25

地址 美国罗德岛州

审查员 闫飞燕

(72) 发明人 A · J · M · 范德威登

R · V · 科姆比尔

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理人 邬少俊 王英

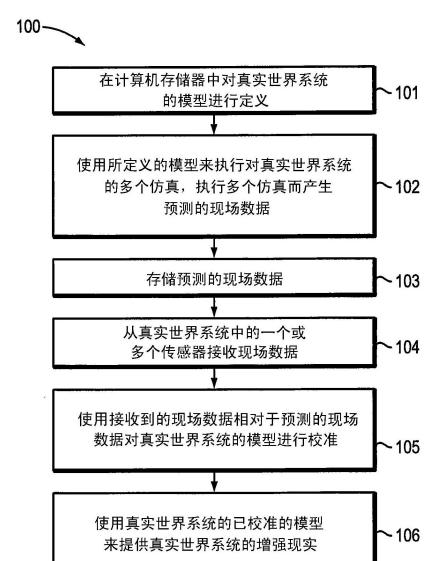
权利要求书3页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

针对紧急行为的仿真增强现实系统

(57) 摘要

本发明的实施例通过对表示真实世界系统的模型进行定义来提供增强现实。在对模型进行定义之后，使用所定义的模型来执行多个模型仿真，这会产生存储在存储器中的预测的现场数据。接下来，从真实世界系统中的一个或多个传感器接收数据，并使用接收到的现场数据相对于所有存储的预测的现场数据对所定义的模型进行校准。然后，使用已校准的模型来提供真实世界系统的增强现实。



1. 一种用于提供增强现实体验的计算机实现的方法,所述方法包括:  
在计算机存储器中对真实世界系统的模型进行定义;  
使用经定义的模型来执行对所述真实世界系统的多个仿真,执行所述多个仿真产生预测的现场数据;  
存储所述预测的现场数据;  
从所述真实世界系统中的一个或多个传感器接收现场数据;  
使用接收到的现场数据相对于所述预测的现场数据来对所述真实世界系统的所述模型进行校准;  
使用所述真实世界系统的已校准的模型来提供所述真实世界系统的增强现实;  
基于所校准的模型潜在地识别所述真实世界系统的一个或多个潜在故障条件;以及  
在与所述一个或多个潜在故障条件相关联的真实世界位置处,通过增强现实耳机向所述用户提供所述真实世界系统的所述一个或多个潜在故障条件的增强现实显示,  
其中使用所述接收到的现场数据对所述真实世界系统的所述模型进行校准包括:  
在给定所述接收到的现场数据的情况下确定一个或多个模型参数的值。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中对所述真实世界系统的所述模型进行定义包括对所述一个或多个模型参数进行定义。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中针对所述一个或多个模型参数的一个或多个变型来执行所述多个仿真。
4. 根据权利要求3所述的方法,还包括:  
存储所述一个或多个模型参数的所述一个或多个变型。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中经由增强现实头盔来提供所述增强现实。
6. 根据权利要求1所述的方法,还包括:  
通过使用所述已校准的模型执行对所述真实世界系统的仿真来对所述真实世界系统的一个或多个故障点进行预测;以及  
在所述增强现实中指示一个或多个预测的故障点。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中提供所述增强现实包括:  
示出在未来时间时所述真实世界系统的状态。
8. 根据权利要求7所述的方法,其中示出在未来时间时所述真实世界系统的所述状态描述以下中的至少一个:  
如果没有执行动作的真实世界系统;  
如果执行了用户提议的动作的真实世界系统;以及  
如果执行了系统推荐的动作的真实世界系统。
9. 根据权利要求7所述的方法,其中使用一个或多个反例来确定在未来时间时所述真实世界系统的所述状态。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中所执行的多个仿真对所述真实世界系统的一个或多个紧急行为进行仿真。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述增强现实示出使用所述已校准的模型而确定的所述真实世界系统的物理现场数据。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述物理现场数据包括以下中的至少一个:

温度；  
密度；  
气流；  
可能的断裂位置；  
断裂的可能性；  
速度；  
应力；以及  
应变。

13. 一种用于提供增强现实体验的计算机系统，所述计算机系统包括：  
处理器；以及  
其上存储有计算机代码指令的存储器，所述处理器和所述存储器以及所述计算机代码指令被配置为使得所述系统执行以下操作：

在计算机系统存储器中对真实世界系统的模型进行定义；  
使用经定义的模型来执行对所述真实世界系统的多个仿真，执行所述多个仿真产生预测的现场数据；  
存储所述预测的现场数据；  
从所述真实世界系统中的一个或多个传感器接收现场数据；  
使用接收到的现场数据相对于所述预测的现场数据来对所述真实世界系统的所述模型进行校准；  
使用所述真实世界系统的已校准的模型来提供所述真实世界系统的增强现实；  
基于所校准的模型潜在地识别所述真实世界系统的一个或多个潜在故障条件；以及  
在与所述一个或多个潜在故障条件相关联的真实世界位置处，通过增强现实耳机向所述用户提供所述真实世界系统的所述一个或多个潜在故障条件的增强现实显示，  
其中使用所述接收到的现场数据对所述真实世界系统的所述模型进行校准包括：  
在给定所述接收到的现场数据的情况下确定一个或多个模型参数的值。

14. 根据权利要求13所述的系统，其中对所述真实世界系统的所述模型进行定义包括对所述一个或多个模型参数进行定义。

15. 根据权利要求13所述的系统，其中所述处理器和所述存储器以及所述计算机代码指令还被配置为使得所述系统执行以下操作：

通过使用所述已校准的模型执行对所述真实世界系统的仿真来对所述真实世界系统的一个或多个故障点进行预测；以及

在所提供的增强现实中指示一个或多个预测的故障点。

16. 根据权利要求13所述的系统，其中提供所述增强现实包括：

示出在未来时间时所述真实世界系统的状态。

17. 根据权利要求13所述的系统，其中经由增强现实头盔来提供所述增强现实。

18. 一种用于提供增强现实体验的计算机程序产品，所述计算机程序产品由跨网络与一个或多个客户端通信的服务器执行，并且所述计算机程序产品包括：

计算机可读介质，所述计算机可读介质包括程序指令，当由处理器执行所述程序指令时，所述程序指令使得：

在计算机存储器中对真实世界系统的模型进行定义；  
使用经定义的模型来执行对所述真实世界系统的多个仿真，执行所述多个仿真产生预测的现场数据；  
存储所述预测的现场数据；  
从所述真实世界系统中的一个或多个传感器接收现场数据；  
使用接收到的现场数据相对于所述预测的现场数据来对所述真实世界系统的所述模型进行校准；  
使用所述真实世界系统的已校准的模型来提供所述真实世界系统的增强现实；  
基于所校准的模型潜在地识别所述真实世界系统的一个或多个潜在故障条件；以及  
在与所述一个或多个潜在故障条件相关联的真实世界位置处，通过增强现实耳机向所述用户提供所述真实世界系统的所述一个或多个潜在故障条件的增强现实显示。

## 针对紧急行为的仿真增强现实系统

### 背景技术

[0001] 本发明的实施例总体上涉及计算机程序和系统的领域，并且更具体地涉及产品设计和仿真以及增强和虚拟现实的领域。实施例可以用于虚拟现实、设计（例如，工程系统设计）、维护、增强现实、系统操作、虚拟展示以及娱乐（例如，视频游戏和电影）。

[0002] 在市场上提供了若干现有的产品和仿真系统以用于系统、零件或零件组件的设计和仿真。这种产品和仿真系统典型地采用计算机辅助设计（CAD）和/或计算机辅助工程（CAE）程序。这些系统允许用户对对象或对象组件的复杂三维模型进行构造、操作以及仿真。因此，这些CAD和CAE系统使用边或线（在某些情况下使用面）来提供已建模的对象的表示。可以以各种方式表示线、边、面或多元形，例如，非均匀有理基样条（NURBS）。

[0003] 这些CAD系统对主要是几何结构的规格的已建模对象的零件或零件组件进行管理。特别地，CAD文件包含规格，根据该规格生成几何结构。根据几何结构生成表示。规格、几何结构和表示可以存储在单个CAD文件或多个CAD文件中。CAD系统包括用于向设计者表示已建模的对象的图形工具；这些工具专用于显示复杂的对象。例如，组件可以包含数千个零件。CAD系统可以用于管理存储在电子文件中的对象的模型。

[0004] CAD和CAE系统的出现允许针对对象的大范围的表示可能性。示例包括有限元模型（FEM）、有限体积模型以及晶格玻尔兹曼模型（有限粒子模型）。这些模型可以源自CAD模型，并且因此可以表示一个或多个零件或整个组件。此外，可以使得模型具有基础对象或其所表示的对象的属性的方式对所述模型进行编程。当以这样的方式对FEM或本领域已知的其它这样的对象表示进行编程时，模型可以用于执行对其表示的对象的仿真。例如，FEM可以用于表示车辆的内腔、围绕结构的声学流体以及任何数量的真实世界的对象。此外，CAD和CAE系统连同FEM、有限体积模型以及晶格玻尔兹曼模型一起，都可以用于对工程系统进行仿真。例如，CAE系统可以用于对车辆的噪声和振动进行仿真。

### 发明内容

[0005] 现有的仿真/实验技术并非没有缺点。这些现有方法的主要问题是它们执行所花费的时间。这样的时间量阻止现有的方法成为实际的方法，例如用于虚拟现实和实时应用。

[0006] 本发明的实施例克服了现有方法的问题，并且提供了实时提供增强现实体验的方法和系统。本发明的实施例可以用于改进各种领域中的方法，包括虚拟现实、视频游戏、虚拟展示以及系统设计、维护以及操作。

[0007] 根据至少一个示例实施例，用于提供增强现实体验的方法以在计算机存储器中定义真实世界系统的模型而开始。这种方法以使用所定义的模型来执行对真实世界系统的多个仿真以产生预测的现场数据而继续，现场数据随后存储在计算机存储器中。接着，从真实世界系统中的一个或多个传感器接收现场数据，并且使用从一个或多个传感器接收到的现场数据相对于所存储的预测的现场数据来对真实世界系统的模型进行校准。接下来，使用真实世界系统的已校准的模型来提供真实世界系统的增强现实。

[0008] 根据示例实施例，对真实世界系统的模型进行定义包括对一个或多个模型参数进

行定义。在这样的实施例中,使用所接收的现场数据对真实世界系统的模型进行校准包括在给定所接收的现场数据的情况下确定一个或多个模型参数的值。另一个实施例针对一个或多个模型参数的一个或多个变型来执行多个仿真。这样的方法实施例还可以存储在执行多个仿真中所使用的一个或多个模型参数的一个或多个变型。

[0009] 该方法的替代实施例还包括(1)通过使用已校准的模型执行对真实世界系统的仿真来对真实世界系统的一个或多个故障点进行预测,以及(2)在增强现实中指示一个或多个预测的故障点。在示例实施例中,经由增强现实头盔来提供增强现实。在另一个实施例中,提供增强现实包括示出在未来时间时真实世界系统的状态。在这样的实施例中,可以使用一个或多个反例研究来确定在未来时间时真实世界系统的状态。此外,根据实施例,示出在未来时间时真实世界系统的状态描述了以下中的至少一个:如果没有执行动作的真实世界系统,如果执行了用户提议的动作的真实世界系统,以及如果执行了系统推荐的动作的真实世界系统。

[0010] 在另一个示例实施例中,所执行的多个仿真对真实世界系统的一个或多个紧急行为进行仿真。此外,根据另一个实施例,增强现实示出使用已校准的模型而确定的真实世界系统的物理现场数据和/或预测的未来物理现场数据。在这样的实施例中,物理现场数据可以包括以下中的至少一个:温度、密度、气流、可能的断裂位置、断裂的可能性、速度、应力、应变、以及其他。

[0011] 本发明的另一个实施例涉及一种用于提供增强现实体验的计算机系统。这种计算机系统包括处理器和其上存储有计算机代码指令的存储器,其中处理器和存储器以及计算机代码指令被配置为使得系统对计算机系统存储器中的真实世界系统的模型进行定义。此外,处理器和存储器以及计算机代码指令还可以被配置为使得计算机系统使用所定义的模型来执行对真实世界系统的多个仿真,以产生预测的现场数据,预测的现场数据被存储在计算机存储器中。此外,响应于从真实世界系统中的一个或多个传感器接收到的现场数据,计算机系统使用所接收到的现场数据相对于所预测的现场数据对真实世界系统的模型进行校准,并使用真实世界系统的已校准的模型来提供对真实世界系统的增强现实。

[0012] 根据计算机系统的实施例,对真实世界系统的模型进行定义包括对一个或多个模型参数进行定义。在这样的实施例中,使用所接收的现场数据对真实世界系统的模型进行校准包括在给定所接收的现场数据的情况下确定一个或多个模型参数的值。更进一步地,在这样的实施例中,可以针对一个或多个模型参数的一个或多个变型来执行多个仿真。

[0013] 在系统的替代实施例中,处理器和存储器以及计算机代码指令还被配置为使得系统(1)通过使用已校准的模型执行对真实世界系统的仿真来对真实世界系统的一个或多个故障点进行预测,以及(2)在所提供的增强现实中指示一个或多个预测的故障点。另一个系统实施例经由增强现实头盔来提供增强现实。此外,系统的替代实施例示出了所提供的增强现实中的在未来时间时真实世界系统的状态。

[0014] 本发明的另一个实施例涉及用于提供增强现实体验的云计算实现。这样的实施例涉及由跨网络与一个或多个客户端通信的服务器执行的计算机程序产品,其中该计算机程序产品包括计算机可读介质。在这样的实施例中,计算机可读介质包括程序指令,当由处理器执行该程序指令时,使得:在计算机存储器中对真实世界系统的模型进行定义,并使用所定义的模型来执行对真实世界系统的多个仿真,其中执行多个仿真产生预测的现场数据。

在执行这样的程序指令时,还使得对预测的现场数据进行存储,并从真实世界系统中的一个或多个传感器接收现场数据。此外,在这样的实施例中,当由处理器执行程序指令时,还将使得:使用所接收的现场数据相对于预测的现场数据来对真实世界系统的模型进行校准,并使用真实世界系统的已校准的模型来提供真实世界系统的增强现实。

## 附图说明

- [0015] 如附图中所示,根据下文对本发明的示例实施例的更加具体的描述前述内容将是显而易见的,在附图中相同的附图标记指代整个不同的视图中相同的部分。附图不一定按比例,相反将重点放在示出本发明的实施例上。
- [0016] 图1是根据至少一个示例实施例的用于提供增强现实体验的计算机实现的方法的流程图。
- [0017] 图2示出了根据本发明的原理的用于提供增强现实体验的实施例的实现。
- [0018] 图3A和图3B示出了可以由实施例提供的真实世界系统的增强现实。
- [0019] 图4描述了根据实施例的具有增强现实的真实世界系统。
- [0020] 图5是根据实施例的用于提供增强现实体验的计算机系统的简化框图。
- [0021] 图6是其中可以实现本发明的实施例的计算机网络环境的简化示意图。

## 具体实施方式

- [0022] 下文是对本发明的示例实施例的描述。
- [0023] 所有专利、公开的申请以及本文所引用的参考文献的教导通过引用而整体并入。
- [0024] 本发明的实施例提供了用于真实世界系统的增强现实。当用户遇到紧急行为(即,先前未经历过的系统行为)时,可以利用本发明的方法和系统来对结果进行改进。对于复杂工厂、设施、系统以及设备的应急响应通常基于员工接收手册和培训的应急程序。如果系统仅具有几个使用少量传感器就可以容易地观测到的行为状态,并且如果可以使用影响特定组件的致动器来或多或少地对这些状态进行线性控制,则这种现有方法相对有效。
- [0025] 然而,随着网络物理系统的出现,系统的整体行为可能完全不同于每个组件的行为的总和,例如,非线性。不能通过单独研究组件的行为来理解这些越来越复杂的系统的属性,并且相反,本领域的技术人员不仅必须单独地理解系统的组件,而且还必须理解组件之间的交互。传统方法不能针对所有这些可能的交互和行为对员工和用户进行训练。
- [0026] 本发明的实施例通过提供这样的方法和系统来解决前述问题:该方法和系统提供真实世界系统的增强现实。这样的方法可以用于执行训练练习,并且还可以实时地用于对决策制定和结果进行改进。为了提供这样的能力,实施例利用真实世界系统的模型,即具有定义了真实世界系统的属性的各种模型参数的“数字双胞胎(digital twin)”,以及已经使用所定义的模型而执行的对真实世界系统的大量仿真。所定义的模型和仿真用于对真实世界系统及其各种交互进行识别。这样的仿真可以包括如在美国专利No.8,831,926B2中所描述的实验研究或反例研究的设计,该美国专利的内容通过引用并入本文。在定义了模型并使用所述模型执行了多个仿真之后,接下来,实施例可以存储在存储器中并对在执行这些仿真中所使用的模型参数和由所述仿真产生的现场数据进行压缩以供进一步使用。根据一个这样的示例实施例,使用虚拟/增强现实创作方法对模型参数和现场数据进行压缩(例

如,美国专利申请No.14/969,341,其内容通过引用并入本文)该方法可以用于根据模型参数实时地预测现场数据。根据实施例,在操作中,在固定位置处的离散的传感器将值流式传送到增强现实系统,增强现实系统作为响应使用诸如误差最小化的数值校准来确定模型参数,以将所预测的行为(其使用多个仿真而确定)与流测量的行为相匹配。已经确定了合适的模型的参数,增强现实系统现在可以使用市售的增强现实头盔(例如,Microsoft® HoloLens)将使用模型参数确定的真实世界系统的行为投射到物理世界上。还有可能可视地指示可能的故障模式的位置(什么样的真实世界的组件不按预期地工作),并且对在各种情况下(例如,没有动作、用户提议的动作、计算系统建议的在真实世界系统中采取的动作等)的未来时间时的真实世界系统的状态进行预测。

[0027] 在真实世界系统的紧急行为期间,这样的增强现实系统可以降低混合的人为错误的影响,并可以加速对非可见属性(例如,温度、密度、气流、材料的应力、应变能、以及可能的断裂位置和可能性)的情境意识。这些功能可以帮助避免物理灾难性故障。

[0028] 图1是根据本发明的实施例的用于提供增强现实体验的方法100的流程图。方法100在步骤101处以在计算机存储器中定义真实世界系统或对象的模型而开始。根据方法100的实施例,响应于用户交互而对模型进行定义。例如,用户可以使用本领域已知的技术来定义/构造模型并提供关于模型所表示的真实世界系统/对象的各种数据。这可以包括以这样的方式对模型进行编程:使得该模型符合真实世界系统的所有参数,并且可以作为真实世界系统的操作模型而运行,即真实世界系统的数字双胞胎。例如,可以将模型编程为具有模型所表示的真实世界系统的任何属性,例如,所表示的真实世界系统的维度、质量以及刚度等等。模型可以是本领域已知的任何模型,其可以被相应地编程以用于仿真。换句话说,根据实施例,模型可以表示所述真实世界系统的行为。示例模型包括计算机辅助工程(CAE)模型、有限元模型、有限体积模型、计算流体动力学模型以及多体动力学模型。此外,所定义的模型还可以是以方程或方程的系统的形式,该方程或方程的系统能够表示模型所表示的真实世界系统的各种属性。示例包括代数方程、普通微分方程以及偏微分方程。在本发明的一个这样的实施例中,所定义的模型是真实世界系统的近似模型。此外,在实施例中,可以根据美国申请No.14/969,341中所描述的原理来对模型进行定义,以使得模型可以用于仿真以快速确定真实世界系统的行为。

[0029] 根据示例实施例,在步骤101处对模型进行定义包括对一个或多个模型参数进行定义。这些参数可以包括服从该方法的真实世界系统的任何这样的属性。示例包括时间、维度、材料、受力、压力载荷、温度、速度、模型配置、系统控制设定、边界条件(几何结构如何连接)、随时间变化的上述规定的条件,以及本领域的普通技术人员所已知的任何其它的系统属性。

[0030] 在步骤101处定义了模型之后,在步骤102处使用所定义的模型执行对真实世界的多个仿真。在实施例中,在步骤102处执行多个仿真以产生预测的现场数据。为了说明,考虑真实世界系统是服务器机房的示例,在步骤101处定义服务器机房的模型,并且在步骤102执行对服务器机房的多个仿真。这样的实施例产生在服务器的各种不同的操作条件下的现场数据,例如,机房中的温度。在对模型进行定义包括对一个或多个模型参数进行定义的实施例中,在步骤102处执行对真实世界系统的多个仿真包括针对所定义的模型参数的不同值执行仿真。例如,可以执行第一仿真,其中所定义的模型参数包括32°F的外部温度、

64°F的服务器机房中的第一位置处的温度、70°F服务器机房中的第二位置处的温度，并且两个服务器以每秒30兆字节的速率传输数据。可以在上述模型参数相同的情况下执行第二仿真，除了现在四个服务器以每秒50兆字节的速率传输数据。这两个仿真各自产生相应的现场数据，例如，现场数据可以包括在给定上述操作条件的情况下服务器机房中所有位置处的温度。根据方法100的实施例，可以根据本领域已知的原理来执行在步骤102处所执行的仿真。此外，在实施例中，根据在美国专利申请No.14/969,341中所描述的原理来执行仿真。实施例可以利用通常用于在系统的设计和开发期间对系统故障进行预测的现实仿真结果。此外，实施例还可以执行包括如美国专利No.8,831,926B2中所描述的实验研究或反例研究的设计的仿真。此外，在方法100的一个这样的示例实施例中，执行对真实世界系统的紧急行为的一个或多个仿真。在实施例中，使用现有的仿真平台（例如，可从Dassault Systemes Simulia公司获得的Abaqus®）来执行仿真。根据实施例，所执行的仿真的数量取决于所预测的现场数据的期望精度和仿真的复杂度。在这样的实施例中，可以通过交叉验证或通过使用单独的验证集来确定所预测的现场数据的精度。

[0031] 在步骤103处方法100继续，并在计算机存储器中存储从在步骤102处所执行的多个仿真产生的预测的现场数据。在实施例中，用于执行仿真的模型参数和模型参数的各种值也存储在计算机存储器中。在步骤102处可以经由本领域已知的任何方式将预测的现场数据存储在本领域已知的任何存储设备上。此外，在实施例中，可以使用虚拟/增强现实创作(author)方法（例如，在美国专利申请No.14/969,341中所描述的方法）以压缩形式存储数据。例如，在这样的实施例中，预测的现场数据可以被压缩为一个或多个插值，每个插值包括具有真实世界系统的相应行为的连续替代的离散多胞形直条。下文所描述的，这些插值接下来可以在步骤105中被校准为在步骤104处从一个或多个传感器接收的现场数据，并且用于在步骤106中提供增强现实。根据在步骤101处所定义的模型是近似模型的实施例，预测的现场数据可以被认为是真实世界系统的模型的一部分，并且因此在步骤103处将预测的现场数据存储在计算机存储器中可以被认为是使用预测的现场数据对真实世界系统的近似状态模型（在存储器中）进行更新和存储。在这样的实施例中，可以如美国专利申请No.14/969,341中所描述的将近似状态模型存储在计算机存储器中，以使得该模型由一个或多个插值给出，每个插值包括具有真实世界系统的相应行为的连续替代的离散多胞形直条。此外，根据这样的实施例，真实世界系统的模型包括在步骤101处所定义的模型连同在步骤103处存储在计算机存储器中的预测的现场数据。

[0032] 根据一个这样的示例实施例，在用户想要利用方法100所提供的增强现实之前执行方法100的上述步骤（步骤101-103）。该示例实施例允许以最小延迟而提供增强现实。此外，因为可以尽可能快地提供增强现实，所以当在紧急情况下使用增强现实时，这样的实施例可以是特别有利的。

[0033] 方法100继续在步骤104处从真实世界系统中的一个或多个传感器接收现场数据。为了说明，返回到上述服务器机房的示例，在步骤104处来自服务器机房中的第一位置的温度传感器可以将温度数据传输到实现方法100的计算系统。因此，在实施例中，在步骤104处所接收的现场数据可以是有限数量的数据点，例如，如在上述示例中，来自机房的多个点的一个或两个温度。

[0034] 接下来，在步骤105处，方法100使用接收到现场数据相对于预测的现场数据对真

实世界系统的模型进行校准。在实施例中,在步骤105处对模型进行校准以在给定所接收的现场数据的情况下确定模型的各种性质。例如,如果在步骤104处接收到针对真实世界系统的给定点的温度读数为70°F,则在步骤105处,针对真实世界系统中的该给定点确定产生70°F的温度的模型的特性。因此,在实施例中,在步骤105处对真实世界系统的模型进行校准可以包括在给定所接收的现场数据的情况下确定一个或多个模型参数的值。根据实施例,这可以使用103所存储的预测的现场数据和/或模型参数的变型来执行。例如,103所存储数据可以被内插和/或外推以确定模型的特性。在一个这样的示例实施例中,使用诸如误差最小化的数值校准过程来确定模型特性,以将预测的行为与从一个或多个传感器接收的现场数据相匹配。在所存储的模型由一个或多个插值给出的实施例中(每个插值包括具有真实世界系统的相应行为的连续替代的离散多胞形直条),在步骤105处对模型进行校准包括对替代模型的输入进行优化,以使得其输出与真实世界的传感器值相匹配。此外,在实施例中,在步骤105处所执行的校准可以使用其它机器学习模型。

[0035] 该校准方法有助于消除对真实世界系统中对大量的传感器的需求。例如,理论上有可能使用传感器完全填充真实世界系统,以便测量系统的所有各种属性和特性。然而,这种系统成本过高、极其复杂、并且会干扰空间接入(这种系统可能需要传感器处于大部分自由空间中)。有利地,方法100可以依赖有限数量的传感器、先前执行的仿真以及存储的数据,仅利用有限数量的真实世界数据来确定整个系统的各种属性。

[0036] 给定已校准的模型,方法100继续并使用真实世界系统的已校准的模型来提供真实世界系统的增强现实。因此,在操作中,真实世界系统中的用户可以使用各种可视化来增强其现实,其中可视化是使用已校准的模型来确定的。可以使用已校准的模型来实时地确定该增强现实,以对在增强现实中示出的行为做出预测。例如,增强现实可以使用已校准的模型来示出真实世界系统的物理现场数据。可以向用户示出这样的数据,例如,温度、应力、应变、速度、密度、气流、材料应力、应变能、可能的断裂位置和可能性。在示例中,观察桥的工程师可以通过使用阴影和/或标签来察看桥上各种位置处的应力。在这样的示例中,例如,用红色阴影来覆盖高应力的部件,而用黄色阴影来覆盖较少应力的部件。因此,当观察桥时,增强现实将示出桥的各种条件。下文关于图4来描述这种操作的示例。

[0037] 在方法100的实施例中,在步骤106处使用市售的全息增强现实头盔(例如,Microsoft® HoloLens)来实时地提供增强现实。在这样的实施例中,可以将系统的行为投射到真实世界上。方法100的另一个实施例通过使用已校准的模型执行对真实世界系统的仿真来预测真实世界系统的一个或多个故障点,并且接下来在增强现实中指示一个或多个预测的故障点。替代地,实施例可以利用先前执行过的仿真结果来示出预测的故障点。另一个实施例示出未来时间时真实世界系统的状态。例如,这样的实施例可以描绘未来的关键情况,例如,组件和设备故障。在这样的实施例中,可以使用如在美国专利No.8,831,926中所描述的反例研究来确定未来时间时真实世界系统的状态。这样的实施例在验证方法中使用反例来识别与真实世界系统的当前状态最接近的故障条件。在这样的示例实施例中,模型的状态空间中最接近的故障条件被识别。类似地,实施例可以描述这样的真实世界系统:如果没有执行动作,如果执行了用户提议的动作,和/或如果执行了系统推荐的动作。在实施例中,可以自动地或响应于用户请求而示出这样的未来动作。根据实施例,在步骤105处对模型进行校准时,方法100执行进一步的仿真或利用先前执行过的仿真,以便开发推荐的

动作或一系列的动作。在一个这样的示例中,执行识别未来时间时的故障的仿真,并且作为响应,增强现实系统执行进一步的仿真以识别可以采取以避免该预测的故障的动作。然后可以在步骤106处在增强现实中向用户示出(视觉地或图形地显示)这些动作。

[0038] 根据实施例,增强现实示出了真实世界系统的一个或多个紧急行为,即,先前没有经历过的动作。方法100的另一实施例还包括当新的组件或软件被引入到真实世界系统时,使用新的行为场景来更新在步骤101处所定义的模型。这种实施例在步骤101处对模型进行更新,在步骤102处使用已更新的模型来执行仿真,并且然后在步骤103处将该新数据存储在计算机存储器中。

[0039] 图2描绘了根据本发明的实施例的提供增强现实的实现。这样的实施例开始于虚拟现实创作系统221处,虚拟现实创作系统221使用模型 $b=f(p, \Delta t, x, c)$ 来压缩来自己已经执行过的真实世界系统230的仿真的数据,其中b为模型的行为,p为一个或多个模型参数,t为时间,x为真实世界系统中的一个或多个点的位置,而c是一个或多个模型参数的配置。真实世界系统230的模型和在221处压缩的数据使得图2所示的实现能够在相对时间( $\Delta t$ )时在真实世界系统230中的任何地方生成行为b的预测的现场数据223(例如,温度、压力、应力、速度)。在真实世界系统230中,一个或多个传感器234流式传送在校准步骤222中所使用的信息。在校准步骤222中进行系统识别,其将真实世界系统(模型)参数p的值校准为在离散点处的传感器234所提供的已测量的行为b。一旦对于真实世界系统来说模型参数p在其操作时是已知的(其在校准步骤222处确定),则在预测器模块223处对遍及真实世界系统230的行为b进行预测。例如,可以将紧急行为236投射在操作人员所佩戴的增强现实头盔224上,以对危险源进行指示并对决策制定进行改进。

[0040] 在图2所描绘的示例实现中,真实世界系统230具有两个串联泵,上泵231和下泵232。在真实世界系统230的正常操作下,泵231和泵232串联操作以通过真实世界系统230来泵送流体。在一个示例实施例中,上泵231停止以由备用泵233对其进行替换,而下泵232保持运行。在这样的操作期间,通过检测到维护活动开始的利用本发明的原理的智能信息-物理控制系统将大量过量的流体自动转移到旁路235。实施本发明的原理的该控制系统使用先验疲劳寿命计算(例如,在221处所执行的仿真)和由传感器234报告的通过旁路235的当前高质量流量和温度,来在222处对模型进行校准并在预测器模块223处对旁路角落中的应力集中进行识别,应力集中可能导致旁路系统235的近时物理故障236。然后经由增强现实头盔224向用户视觉地和/或图形地示出该行为236。

[0041] 图3A和图3B描绘了在各种时间时的数据中心330a、330b(一般为330)。数据中心330具有联网的计算机331和计算机机房空调(CRAC)系统。如图3A所示,在数据中心330a的正常操作条件下,计算机331周围的空气温度是稳定并受到控制的,其经由根据本发明的原理而提供的增强现实用均匀阴影334示出。在图3B所描述的点处,由于不可预见的外部事件,CRAC通风系统的一部分受损(例如,风扇或通风开口)。此外,响应于该外部事件,计算机331的处理和热负荷可能突然增加,从而导致数据中心330b内的热破坏。这种热破坏在图3B中示出,其中深色阴影332示出了过载且过热的计算机阵列,而较浅的阴影333描述了未充分利用且冷却的计算机阵列。

[0042] 通过利用本发明的原理,数据中心操作人员可以在数据中心房间中并且通过利用增强现实头盔,发现某些计算机过热并且可以快速反应以防止网络故障。没有增强现实,操

作人员不能确定过热计算机的物理位置、空气的流动方向,并且因此不能确定如何适当地平衡处理负载并响应以对受损的CRAC系统进行控制。通过遵循图2所描绘的过程,数据中心操作人员可以佩戴增强现实头盔、加载仿真结果、并观测诸如温度和气流的现场数据。然后该观测的现场数据允许操作人员清楚地可视化流量和温度问题并且快速地将处理负载从位置332重定向到位置333。因此,增强现实使得能够改进并加速对产生的紧急行为的决定。此外,在实施例中,增强现实可以通过识别过载的计算机并且通过识别可以处理额外负载的计算机来对将采取的适当步骤进行建议。

[0043] 图4描绘了包括桥441的真实世界系统440,其中利用全息增强现实头盔442的用户可以观察增强现实446。在这样的实施例中,如上文所述对桥441的模型进行定义,对已建模的桥441执行仿真,并对所述仿真结果进行存储。然后,在操作中,用户到达桥441并佩戴可以经由有线或无线连接被连接到被配置为执行本文所描述的方法的计算设备的增强现实头盔442,并且用户可以观察桥441的增强现实446。替代地,可以经由头盔442自身的一个或多个处理器来执行计算。通过利用本发明的原理,用户可以发现系统440的其它方面的不可见特征。例如,在图4所描述的实施例中,用户可以观察在各种点处的桥上的应变,其可以视觉地和/或图形地示出,例如,使用阴影444和阴影445。图4示出了这样的示例,其中较深阴影445示出了与具有较浅阴影的444的部分相比在更高的应变下的桥441上的点。

[0044] 图5是根据本发明的实施例的可以用于提供增强现实体验的基于计算机的系统550版本的头盔224、442的简化框图。基于计算机的系统550包括总线555。总线555用作系统550的各种组件之间的互连。输入/输出设备接口558连接到总线555,以用于将各种输入和输出设备(例如,键盘、鼠标、显示器、扬声器、传感器等)连接到基于计算机的系统550。中央处理单元(CPU)552连接到总线555并提供计算机执行的指令。存储器557提供数据的易失性存储以用于执行计算机指令。存储装置556提供软件指令的非易失性存储,例如,操作系统(未示出)。系统550还包括用于连接到本领域已知的任何种类网络的网络接口551,包括广域网(WAN)和局域网(LAN)。

[0045] 应当理解,可以以许多不同的方式来实现本文所描述的示例实施例。在一些情况下,本文所描述的各种方法和机器可以各自由诸如计算机系统550的物理计算机、虚拟计算机或混合通用计算机,或者下文关于图6所描述的诸如计算机环境660的计算机网络环境来实现。可以将计算机系统550转换为执行本文所描述的方法/模块(例如,100、221、222、223)的机器,例如,通过将软件指令加载到存储器557或非易失性存储装置556中以由CPU 552执行。本领域普通技术人员还应当理解,系统550及其各种组件可以被配置为执行本文所描述的本发明的任何实施例。此外,系统550可以利用在系统550内部或外部可操作地耦合的硬件、软件以及固件模块的任何组合来实现本文所描述的各种实施例。

[0046] 图6示出了其中可以实现本发明的实施例的计算机网络环境660。在计算机网络环境660中,服务器661通过通信网络662连接到客户端663a-n。一个或多个客户端663被配置为上文所描述的基于计算机的系统550。环境660可以用于允许客户端663a-n(例如,头盔224、442)单独地或与服务器661组合地执行上文所描述的方法/模块中的任何一个(例如,100、221、222、223)。

[0047] 可以以硬件、固件或软件的形式来实现实施例或其方面。如果以软件来实现,则软件可以存储在被配置为使得处理器能够加载软件或其指令的子集的任何非暂时性计算机

可读介质上。然后处理器执行指令并被配置为操作或使得装置以如本文所描述的方式操作。

[0048] 此外,固件、软件、例程或指令在本文中可以被描述为执行数据处理器的某些动作和/或功能。然而,应当理解,本文所包含的这种描述仅仅是为了方便,并且实际上这样的动作从计算设备、处理器、控制器或执行固件、软件、例程、指令等的其它设备产生。

[0049] 应当理解,流程图、框图以及网络图可以包括被不同地布置或者不同地表示的更多或更少的元件。但是还应当理解,某些实现可以规定以特定方式来实现框图和网络图以及示出实施例的执行的框图和网络图的数量。

[0050] 因此,还可以以各种计算机体系架构、物理计算机、虚拟计算机、云计算和/或其某种组合来实现其它实施例,并且因此,本文所描述的数据处理器仅旨在出于说明的目的,而不作为对实施例的限制。

[0051] 虽然已经参考本发明的示例实施例具体地示出并描述了本发明,但是本领域的技术人员应当理解,其中可以在形式和细节上进行各种改变而不脱离所附权利要求所覆盖的本发明的范围。

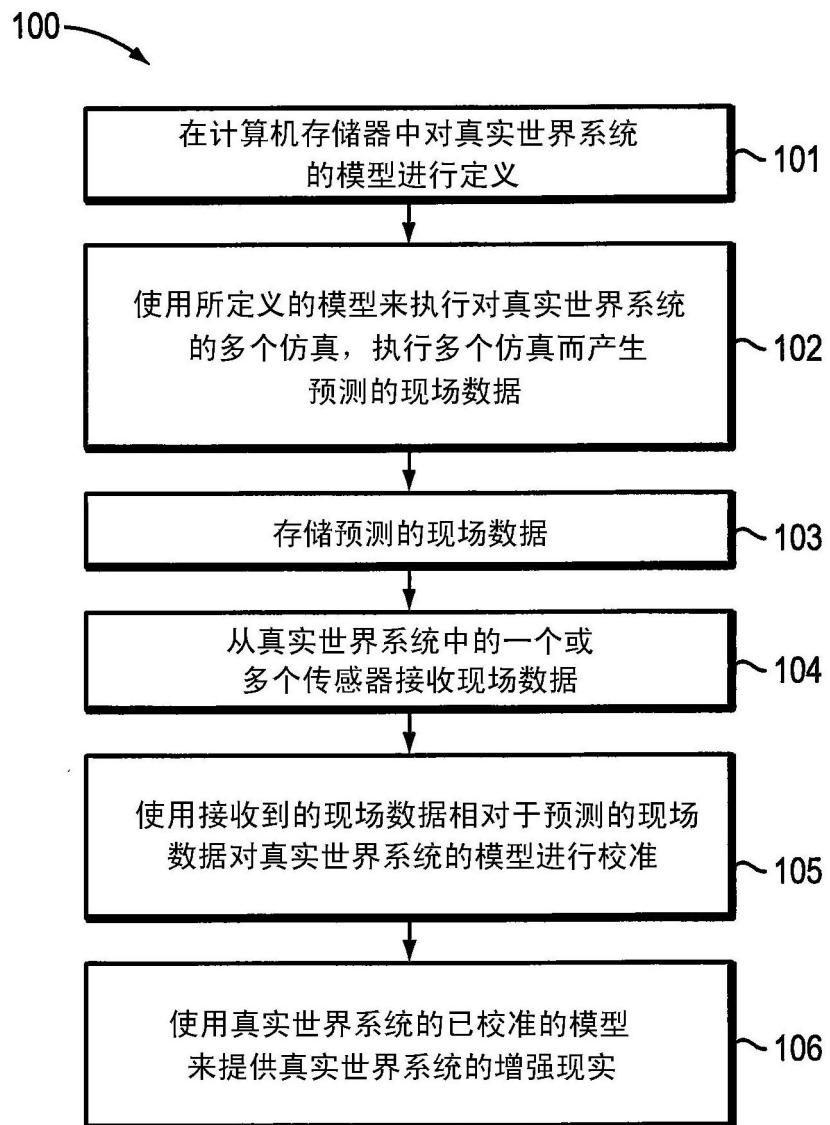


图1

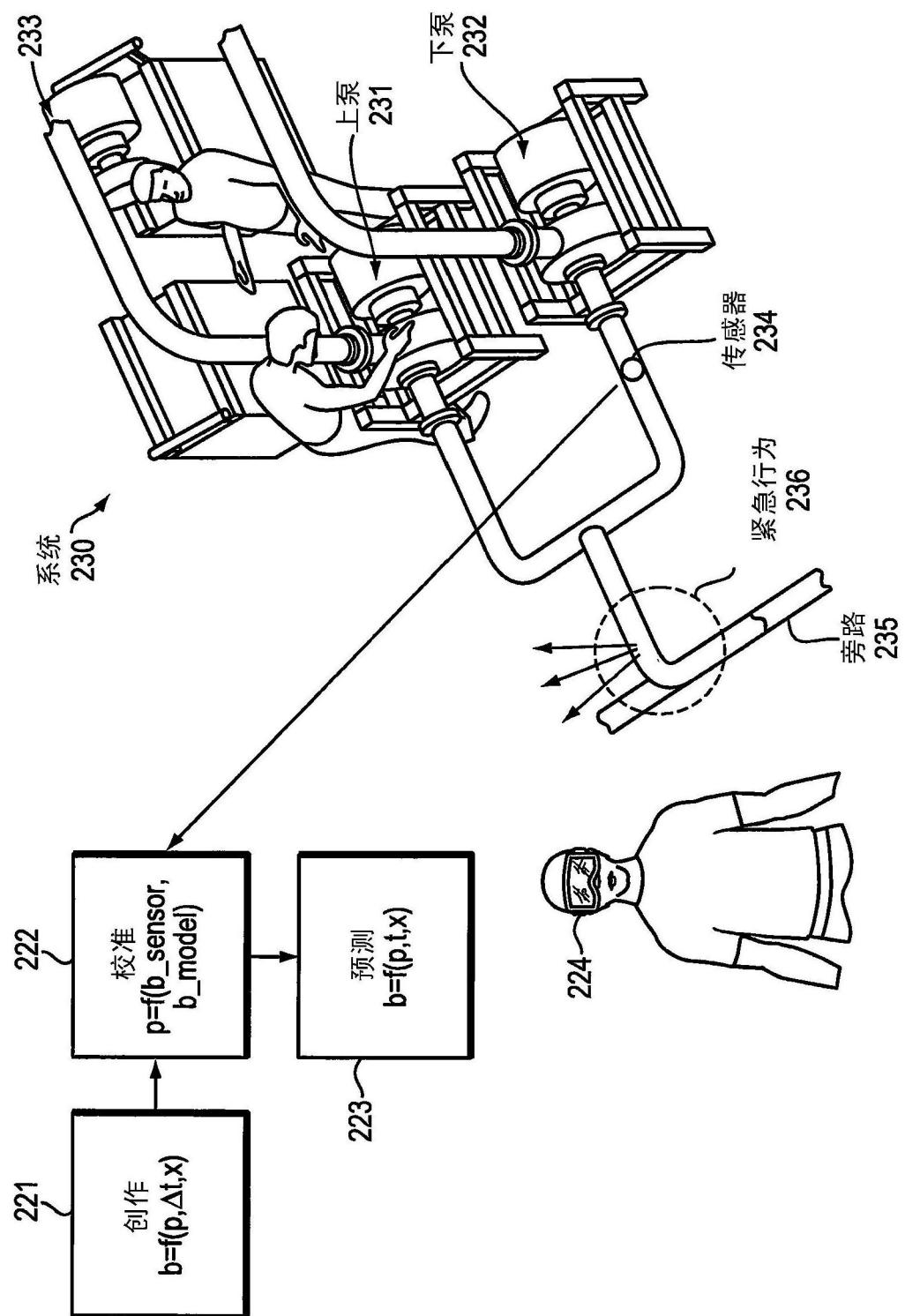


图2

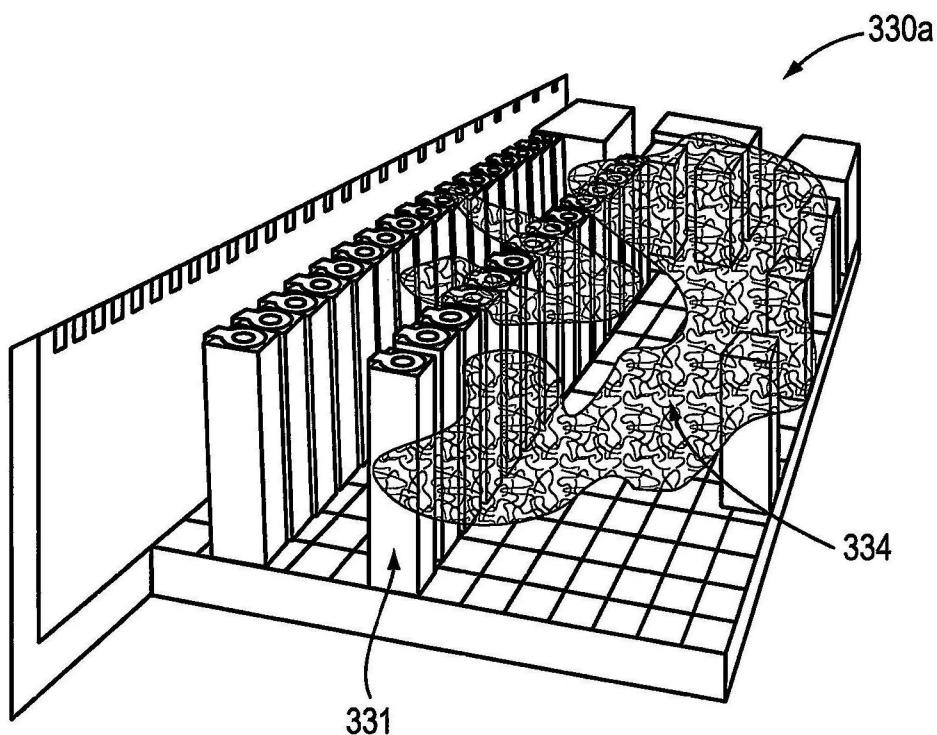


图3A

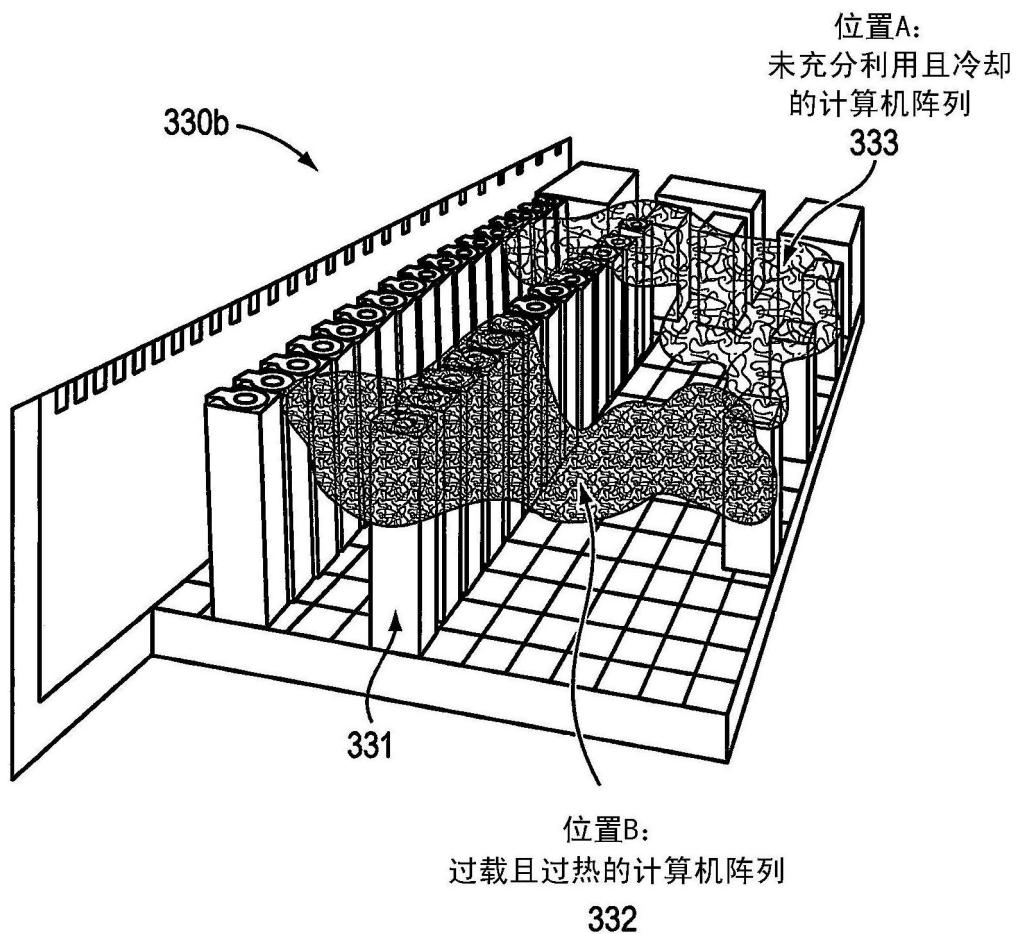


图3B

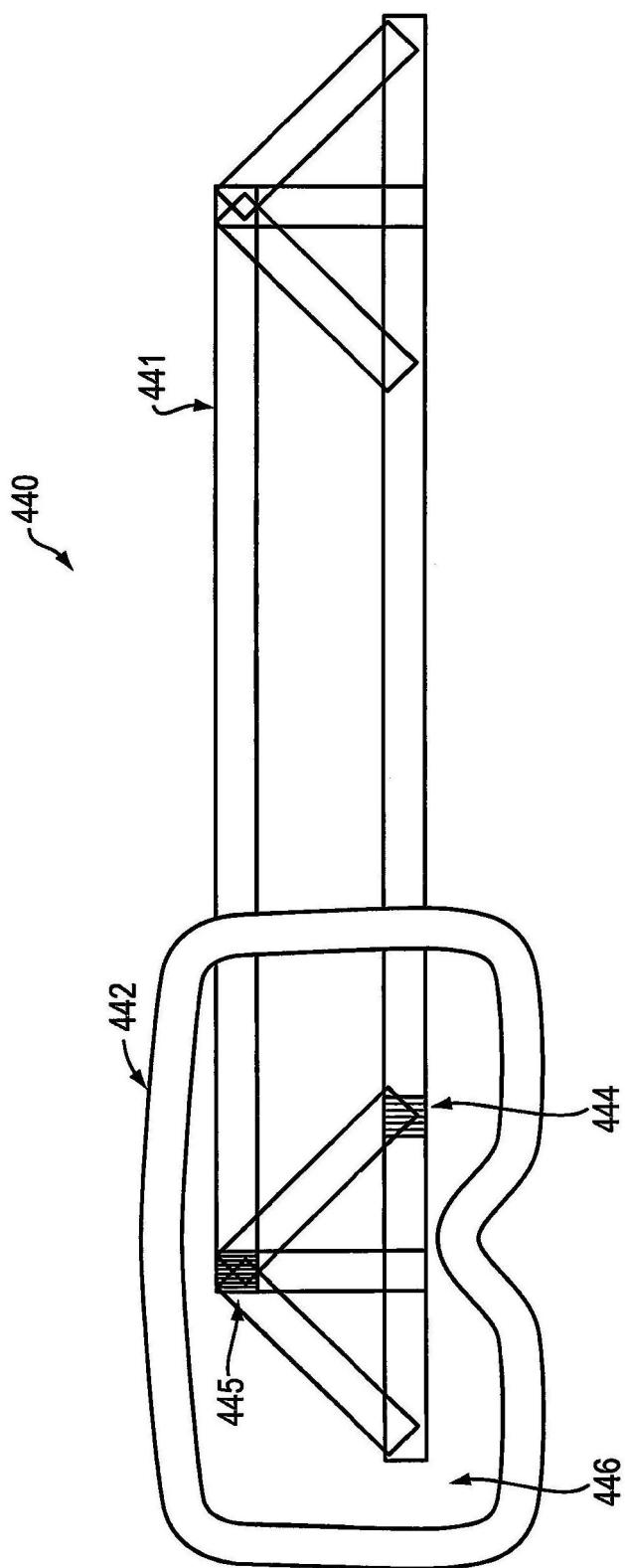


图4

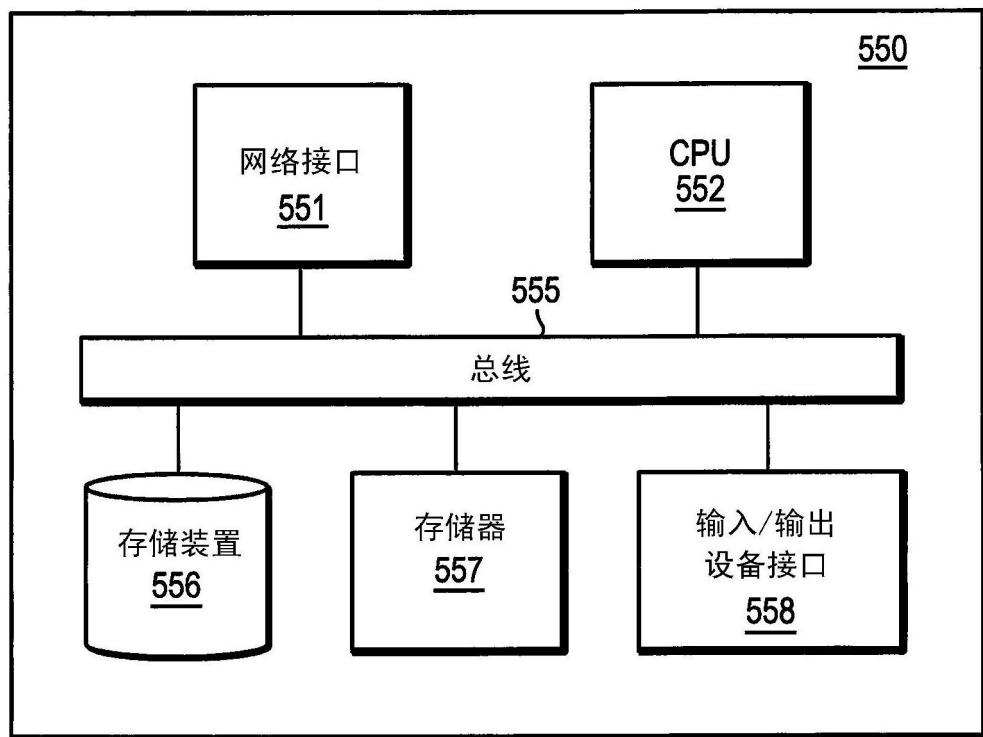


图5

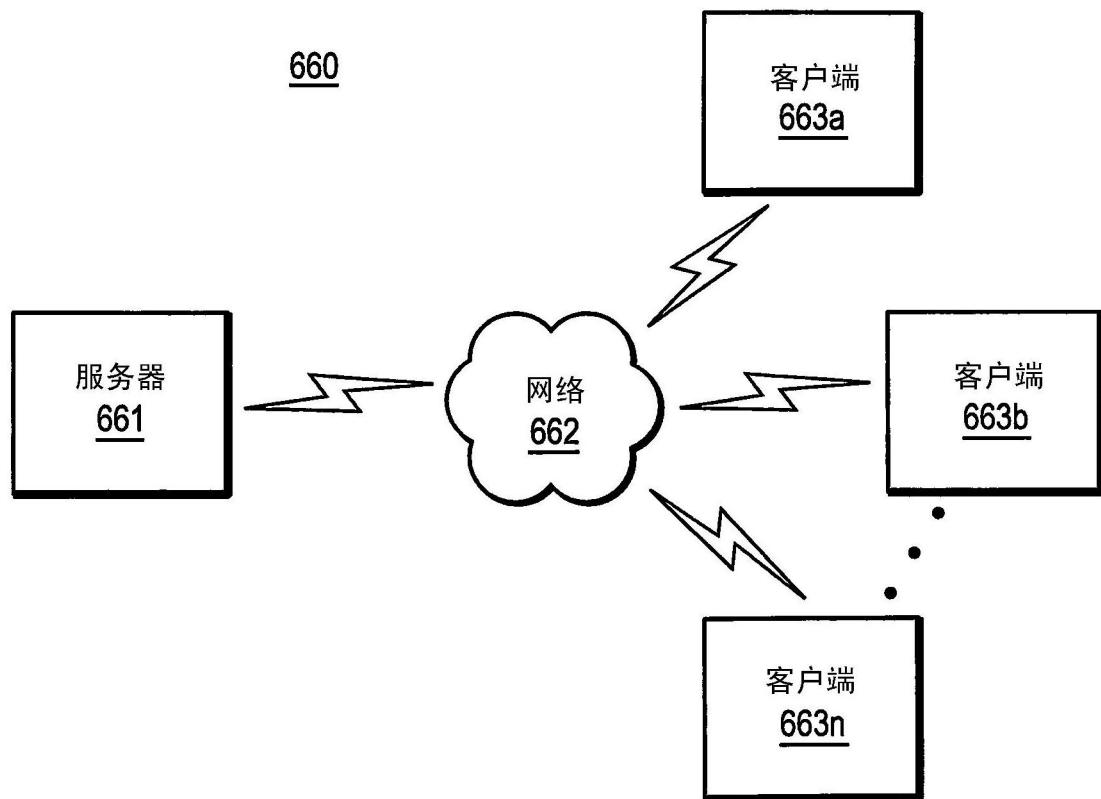


图6