



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111353080 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 25

(21) 申请号 201911337061.6

(22) 申请日 2019.12.23

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111353080 A

(43) 申请公布日 2020.06.30

(30) 优先权数据  
18306832.9 2018.12.21 EP

(73) 专利权人 达索系统公司  
地址 法国韦利济-维拉库布莱

(72) 发明人 E·赫尔曼 G·库尼亚 C·伍玉

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002  
专利代理师 刘文灿

(51) Int.Cl.

G06F 16/904 (2019.01)

(56) 对比文件

陈刚;李跃明.非定常流场降阶模型及其应用研究进展与展望.力学进展.2011,(06),全文.

审查员 郑蓉珍

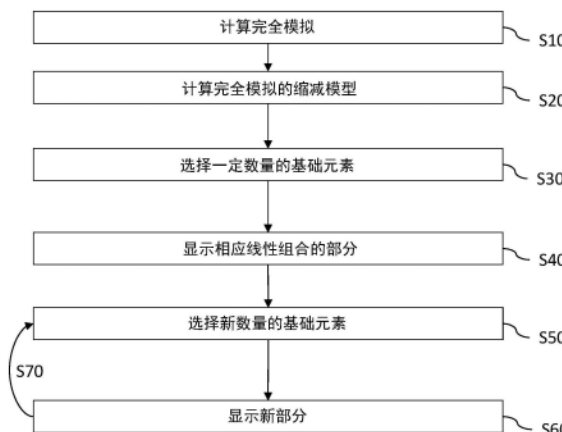
权利要求书1页 说明书15页 附图11页

## (54) 发明名称

用于可视化的模拟数据的自适应压缩

## (57) 摘要

本发明尤其涉及一种用于显示模拟的计算机实现的方法。该方法包括计算完全模拟。完全模拟包括状态。该方法还包括计算所计算的完全模拟的缩减模型。缩减模型包括具有元素的基础。完全模拟的每个状态由基础元素的相应线性组合表示。该方法进一步包括针对完全模拟的至少一种状态显示相应线性组合的一部分。这构成了用于显示模拟的改进的方法。



1. 一种用于显示模拟结果的计算机实现的方法,包括:
  - 计算包括状态的完全模拟,包括计算代表所有状态的所有信息;
  - 计算所计算的完全模拟的缩减模型,所述缩减模型包括基础元素,所述完全模拟的每个状态由所述基础元素的相应的线性组合表示,其中,所述基础元素是从所计算的完全模拟计算得出的因式分解的组成部分;
  - 针对要被显示的一个或多个下一状态,选择对所述相应的线性组合的所述部分有贡献的一定数量的基础元素;
  - 对于所述完全模拟的至少一个状态,显示所述相应的线性组合的部分;
  - 针对要被显示的一个或多个下一状态,选择对所述相应的线性组合的所述部分有贡献的新数量的基础元素,从而针对要被显示的所述一个或多个状态中的每一个状态创建所述相应的线性组合的新部分;以及
  - 显示所述相应的线性组合的所述新部分,其中,对所述新数量的基础元素的选择和对所述新部分的显示是迭代进行的。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,基础元素的任何线性组合与相应的模拟压缩率和相应的重构误差相关联。
3. 根据权利要求1或2中的任一项所述的方法,其中
  - 所述基础元素是有序的;以及
  - 有序基础元素中的第一元素对所述相应的线性组合的所述部分有贡献。
4. 根据权利要求2所述的方法,其中,执行每个选择,使得针对要被显示的一个或多个下一状态的所述相应的线性组合的所述部分的所述相应的模拟压缩率或所述相应的重构误差达到给定值。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中,确定所述模拟压缩率的所述给定值,使得通过网络发送的用于显示所述模拟的数据量低于阈值。
6. 根据权利要求4所述的方法,其中,确定所述重构误差的所述给定值,使得要被显示的所述模拟的准确性符合要求。
7. 根据权利要求5或6中的任一项所述的方法,其中,确定所述给定值以用于以最大准确性显示所述模拟,同时最小化通过网络发送的数据量。
8. 根据权利要求5所述的方法,其中,基于用户动作来选择所述阈值。
9. 根据权利要求6所述的方法,其中,基于用户动作来选择所述要求。
10. 根据权利要求1或2中的任一项所述的方法,其中,在第一计算机上执行对所述完全模拟的所述计算和对所计算的完全模拟的所述缩减模型的所述计算,在第二计算机上执行其它步骤,所述第一计算机和所述第二计算机通过网络连接。
11. 一种计算机程序产品,包括用于执行根据权利要求1至10中的任一项所述的方法的指令。
12. 一种计算机,包括耦合到存储器和显示器的处理器,所述存储器在其上记录有用于执行根据权利要求1至10中的任一项所述的方法的指令。
13. 一种用于显示模拟结果的系统,包括通过网络连接到第二计算机的第一计算机,所述第一计算机和所述第二计算机各自包括耦合到相应的存储器的相应的处理器,每个存储器在其上记录有用于执行根据权利要求1至10中的任一项所述的方法的指令。

## 用于可视化的模拟数据的自适应压缩

### 技术领域

[0001] 本发明涉及模拟数据的压缩和可视化。

### 背景技术

[0002] 诸如物理模拟之类的模拟通常需要巨大的计算能力,并且还具有很高的存储要求。显示物理模拟的通用管道是在单独的高性能计算机过程中计算物理,并随着模拟的进行将模拟数据输出到磁盘。这些数据可以由不同时间步长的模拟表示组成。数据随后以在线和/或实时方式被利用和呈现/显示。

[0003] 物理模拟,例如来自航空航天、地磁、电磁学或等离子物理学领域的物理模拟,可能需要极大量的模拟数据才能可视化。一个示例是计算流体动力学(CFD)。计算流体动力学是流体力学的一个分支,它使用数值方法和算法来解决和分析涉及流体流动的问题。从航空航天推进到天气预报,它几乎是流体力学每个分支中必不可少的工具。复杂的湍流的特殊情况经常发生在自然环境中,对其进行研究很重要,这是一个很好的模拟示例,它要求流体求解器具有高分辨率和较小的时间步长,并生成大量的时空数据。通过网络传输这些数据可能是一项非常耗时的任务,从而阻止了以交互和/或实时方式传输一系列时间步长。因此,在通过网络发送模拟数据之前,必须找到一种压缩模拟数据的方法。

[0004] 解决该趋势的现有策略包括原位(in situ)处理,降低时间频率,以及减小要存储的数据大小。可以经由子采样来完成一种方法,即仅存储部分模拟数据,例如模拟网格的某些区域或某些变量,而不是全部。结果导致只能部分地看到模拟结果,因此可能在物理上不准确。

[0005] 减少要存储的数据大小也可能涉及压缩。大多数压缩策略都依赖于空间信息,但是可以找到一些关于使用针对图像数据(例如,Villasenor, John D., RA Ergas和P.L.Donoho,“Seismic data compression using high-dimensional wavelet transforms(使用高维小波变换的地震波数据压缩)”Data Compression Conference, 1996.DCC'96Proceedings.IEEE,1996)、表面网格(例如,Trott,Aaron,Robert Moorhead和John McGinley,“Wavelets applied to lossless compression and progressive transmission of floating point data in 3-D curvilinear grids(小波应用于3-D曲线网格中浮点数据的无损压缩和渐进式传输)”,Proceedings of the 7th conference on Visualization'96.IEEE Computer Society Press,1996)、以及来自流体模拟的浮点数据(例如,Li,Shaomeng等人,“Spatiotemporal Wavelet Compression for Visualization of Scientific Simulation Data(用于科学模拟数据可视化的时空小波压缩)”,Cluster Computing(CLUSTER),2017IEEE International Conference on.IEEE,2017)的小波滤波器的时空数据压缩的研究。压缩的缺点是其必然意味着准确性和精度受损,并且无法相对于物理学来控制这种受损。因此,从物理学的角度来看,显示的模拟结果可能是不准确的。压缩还具有例如在模拟结果上的缩放仅限于压缩率的缺点。其他压缩技术已知为来自视频流,并已被用于科学数据(例如Ibarria,Lawrence等人,“Out-of-core compression and

decompression of large n-dimensional scalar fields (大n维标量字段的核外压缩和解压缩)”, Computer Graphics Forum. Vol. 22. No. 3. Blackwell Publishing, Inc, 2003)。尽管可以使用这些方法压缩科学数据,但它们不能对传输的数据的数值上的准确性提供可靠的控制。

[0006] 还已知在计算的模拟数据上使用后处理技术进行可视化。但是,这需要使用昂贵且功能强大的超级计算机。

[0007] 同样,最近的趋势,特别是在高性能计算机上,显示出计算能力正在迅速提高,而磁盘速度却在缓慢提高。结果,模拟的数据生成能力比存储和传输数据的能力增长更快。

[0008] 在这种情况下,仍然需要一种改进的用于显示模拟的方法。

## 发明内容

[0009] 因此,提供了一种用于显示模拟的计算机实现的方法。该方法包括计算完全模拟。完全模拟包括状态。该方法还包括计算所计算的完全模拟的缩减模型。缩减模型包括具有元素的基础。完全模拟的每个状态由基础元素的相应线性组合表示。该方法进一步包括针对完全模拟的至少一种状态显示相应线性组合的一部分。

[0010] 这构成了改进的用于显示模拟的方法。

[0011] 该方法可以包括以下一项或多项:

[0012] -基础元素的任何线性组合与相应的模拟压缩率和相应的重构误差相关联;

[0013] -基础元素是有序的,有序基础元素中的第一元素对相应线性组合的部分有贡献;

[0014] -该方法进一步包括,在显示相应线性组合的部分之前,针对要显示的一个或多个下一状态选择对相应线性组合的部分有贡献的一定数量的基础元素;

[0015] -该方法进一步包括,在显示相应线性组合的部分之后,针对要显示的一个或多个下一状态选择对相应线性组合的部分有贡献的新数量的基础元素,从而针对要显示的一个或多个状态中的每个状态创建相应线性组合的新部分。该方法还包括在显示相应线性组合的部分之后,显示相应线性组合的新部分;

[0016] -迭代进行选择新数量的基础元素和显示新部分;

[0017] -进行每个选择,使得对于要显示的一个或多个下一状态,相应线性组合的部分的相应模拟压缩率或相应重构误差达到给定值;

[0018] -确定模拟压缩率的给定值,以便通过网络发送的用于显示模拟的数据量低于阈值;

[0019] -确定重构误差的给定值,以使要显示的模拟的准确性符合要求;

[0020] -确定给定值,用于以最大准确性显示模拟,同时最小化通过网络发送的数据量;

[0021] -根据用户动作选择阈值或要求;和/或

[0022] -在第一计算机上执行完全模拟的计算和所计算的完全模拟的缩减模型的计算,其他步骤在第二计算机上执行,第一和第二计算机通过网络连接。

[0023] 还提供了一种计算机程序,其包括用于执行该方法的指令。

[0024] 还提供了一种其上记录有计算机程序的计算机可读存储介质。

[0025] 还提供了一种计算机,该计算机包括耦合至存储器和显示器的处理器,该存储器上记录有计算机程序。

[0026] 还提供了一种系统,该系统包括通过网络连接到第二计算机的第一计算机,第一计算机和第二计算机各自包括耦合到相应的存储器的相应的处理器,每个存储器在其上记录有用于执行该方法的指令。

### 附图说明

[0027] 现在将通过非限制性实施例并参考附图来描述本发明的示例,其中:

[0028] -图1示出了该方法的示例的流程图;

[0029] -图2示出了本发明的计算机的示例;

[0030] -图3示出了表示完全模拟的示例的图;

[0031] -图4示出了表示缩减模型的计算的示例的图;

[0032] -图5示出了基础元素的示例;

[0033] -图6示出了与形成一个状态的状态表示的线性组合的不同的相应部分相关联的不同的重构误差;

[0034] -图7a和7b示出了说明为达到给定值而进行的选择的示例的图;

[0035] -图8至图10示出了确定给定值的示例;并且

[0036] 图11示出了说明该方法的示例的图。

### 具体实施方式

[0037] 参考图1的流程图,提出了一种用于显示模拟的计算机实现的方法。该方法包括计算(S10)完全模拟。完全模拟包括状态。该方法进一步包括计算(S20)所计算的完全模拟的缩减模型。缩减模型包括具有元素的基础。完全模拟的每个状态由基础元素的相应线性组合表示。该方法进一步包括,对于完全模拟的至少一种状态,显示(S40)相应线性组合的部分。

[0038] 这种方法改善了模拟的显示。确实,所计算的完全模拟的缩减模型捕获了模拟的物理性质。因此,可以基于缩减模型来执行相关的物理分析,从而显示物理感兴趣的结果(相应线性组合的部分)。因此,模拟显示不仅基于数值准确性,还基于物理行为而遵守给定的准确性级别。同样,由于仅显示从缩减模型获得的相应线性组合的部分,因此模拟显示需要减少数量的数据进行传输。可视化数据因此相应地适应于期望的网络使用,从而使得能够使用低传输速率的网络。简而言之,该方法的模拟显示在网络使用方面既经济又物理上准确。此外,通过该方法一次完成计算完全模拟,然后该方法仅重播/显示完全模拟或完全模拟的至少一部分,而不重新运行完全模拟。该方法进一步避免了视频压缩或后处理技术及其缺点。

[0039] 该方法是计算机实现的。这意味着该方法的步骤(或基本上所有步骤)由至少一计算机或任何类似系统执行。因此,该方法的步骤由计算机执行,可能是全自动执行,或者是半自动执行。在示例中,可以通过用户计算机交互来执行该方法的至少一些步骤的触发。所需的用户-计算机交互级别可能取决于预见的自动化级别,并与实现用户意愿的需求保持平衡。在示例中,该级别可以是用户定义的和/或预定义的。

[0040] 方法的计算机实现的典型示例是利用适于该目的的系统(例如计算机系统)来执行该方法。该系统可以包括耦合到存储器和图形用户界面(GUI)的处理器,该存储器上记录

有计算机程序,该计算机程序包括用于执行该方法的指令。存储器还可以存储数据库。存储器是适合于这种存储的任何硬件,可能包括几个物理上不同的部分(例如,一个用于程序,而可能一个用于数据库)。

[0041] 图2示出了该系统的示例,其中该系统是客户端计算机系统,例如用户的工作站。

[0042] 该示例的客户端计算机包括连接至内部通信总线1000的中央处理单元(CPU)1010,也连接至总线的随机存取存储器(RAM)1070。客户端计算机还被提供有图形处理单元(GPU)1110,其与连接到总线的视频随机存取存储器1100相关联。视频RAM 1100在本领域中也称为帧缓冲器。大容量存储设备控制器1020管理对大容量存储设备(例如硬盘驱动器1030)的访问。适合于有形地体现计算机程序指令和数据的大容量存储设备包括所有形式的非易失性存储器,包括:例如,半导体存储设备,例如EPROM、EEPROM和闪存设备;磁盘,例如内部硬盘和可移动盘;磁光盘;以及CD-ROM盘1040。上述任何内容可以通过专门设计的ASIC(专用集成电路)进行补充或合并。网络适配器1050管理对网络1060的访问。客户端计算机还可以包括触觉设备1090,例如光标控制设备、键盘等。在客户端计算机中使用光标控制设备以允许用户将光标选择性地定位在显示器1080上的任何期望位置。此外,光标控制设备允许用户选择各种命令并输入控制信号。光标控制设备包括多个信号生成设备,用于将控制信号输入到系统。通常,光标控制设备可以是鼠标,该鼠标的按钮用于生成信号。替代地或附加地,客户端计算机系统可以包括敏感垫和/或敏感屏幕。

[0043] 该计算机程序可以包括可由计算机执行的指令,该指令包括用于使上述系统执行该方法的单元。该程序可以记录在任何数据存储介质上,包括系统的存储器。该程序可以例如以数字电子电路或计算机硬件、固件、软件或它们的组合来实现。该程序可以被实现为装置,例如有形地体现在机器可读存储设备中以由可编程处理器执行的产品。方法步骤可以通过执行指令程序的可编程处理器来执行,以通过对输入数据进行操作并生成输出来执行该方法的功能。因此,处理器可以是可编程的并且被耦合以从数据存储系统、至少一个输入设备和至少一个输出设备接收数据和指令,以及向数据存储系统、至少一个输入设备和至少一个输出设备发送数据和指令。如果需要,可以以高级过程或面向对象的编程语言或汇编或机器语言来实现应用程序。在任何情况下,该语言都可以是编译语言或解释语言。该程序可以是完整的安装程序或更新程序。在任何情况下,程序在系统上的应用都会导致执行该方法的指令。

[0044] 在示例中,该系统包括通过网络(也称为计算机网络)连接到第二计算机的第一计算机,该第一计算机和第二计算机各自包括耦合到相应存储器的相应处理器,每个存储器在其上记录有用于执行该方法的指令。在示例中,第一计算机是图2的客户端计算机系统。计算机网络允许第一计算机和第二计算机通过使用在诸如电线或光缆之类的介质或无线介质上建立的数据链路来交换资源,通常是数据。更一般地,可以使用提供数据链路的任何电信网络。

[0045] 该系统可以是CAD系统、CAE系统、CAM系统、PDM系统和/或PLM系统的任何组合。在那些不同的系统中,建模对象由对应的数据定义。建模对象是由例如存储在数据库中的数据定义的任何对象。通过扩展,表达“建模对象”表示数据本身。根据系统的类型,可以通过不同种类的数据来定义建模对象。因此,可以提到CAD对象、PLM对象、PDM对象、CAE对象、CAM对象、CAD数据、PLM数据、PDM数据、CAM数据、CAE数据。但是,这些系统并不是彼此排斥的,因

为可以通过与这些系统的任何组合相对应的数据来定义建模对象。根据下面提供的这种系统的定义将显而易见的是,系统因此可以很好地与CAD和PLM系统。

[0046] CAD系统另外是指至少适于基于建模对象的图形表示(例如CATIA)来设计建模对象的任何系统。在这种情况下,定义建模对象的数据包括允许表示建模对象的数据。CAD系统可以例如使用边或线来提供CAD建模对象的表示,在某些情况下具有面或表面。线、边或表面可以以各种方式表示,例如,非均匀有理B样条(NURBS)。具体地,CAD文件包含可以从其生成几何结构的规范,几何结构又允许生成表示。建模对象的规范可以存储在单个CAD文件中或多个CAD文件中。表示CAD系统中的建模对象的文件的典型大小在每部分一兆字节的范围内。并且建模对象通常可以是数千个部分的组装件。

[0047] PLM系统另外是指适于管理表示物理制造产品(或要制造的产品)的建模对象的任何系统。因此,在PLM系统中,建模对象是由适合于制造物理对象的数据定义的。这些通常可以是尺寸值和/或公差值。为了正确地制造物体,具有这样的值确实更好。

[0048] CAM解决方案还意味着适用于管理产品制造数据的任何解决方案,硬件或软件。制造数据通常包括与要制造的产品、制造过程和所需资源有关的数据。CAM解决方案用于计划和优化产品的整个制造过程。例如,它可以为CAM用户提供关于可行性、制造过程的持续时间或可以在制造过程的特定步骤使用的资源(例如特定机器人)数量的信息;因此允许决定管理或所需的投资。CAM是CAD过程和潜在的CAE过程之后的后续过程。这种CAM解决方案由Dassault Systèmes以商标DELMIA®提供。

[0049] CAE解决方案还意味着适用于分析建模对象的物理行为的任何解决方案,硬件或软件。一个众所周知和广泛使用的CAE技术是有限元法(FEM),其通常涉及将建模对象分割为可以通过等式计算和模拟物理行为的元素。这种CAE解决方案由Dassault Systèmes以商标SIMULIA®提供。另一种增长的CAE技术涉及对复杂系统进行建模和分析,而无需CAD几何数据,这些复杂系统由来自不同的物理领域的多个组件组成。CAE解决方案允许进行模拟,从而优化、改进和验证要制造的产品。这种CAE解决方案由Dassault Systèmes以商标DYMOLA®提供。

[0050] PDM代表产品数据管理。PDM解决方案是指任何适用于管理与特定产品相关的所有类型的数据的解决方案,硬件或软件。PDM解决方案可能被所有参与产品生命周期的参与者使用:主要是工程师,还包括项目经理,财务人员,销售人员和买家。PDM解决方案通常基于面向产品的数据库。它允许参与者分享关于他们产品的一致数据,从而防止参与者使用分歧的数据。这种PDM解决方案由Dassault Systèmes以商标ENOVIA®提供。

[0051] 该方法包括计算(S10)完全模拟。

[0052] 模拟是来自任何物理领域的任何模拟,例如电子、电力、力学、机电、流体力学、引力力学、统计力学、波物理学、统计物理学、粒子系统、液压系统、量子物理学、地球物理学、天体物理学、化学、航空航天、地磁、电磁学、等离子物理学或CFD。它可以是来自任何物理学领域的任何物理学或多物理学系统在时间上的至少一种行为的模拟,包括上述示例列表。

[0053] 物理或多物理系统是其行为可以经由至少一个物理领域(例如上述物理领域示例之一)中的至少一个(即一个或多个)物理模型进行模拟的任何现实世界系统或物理实体。现实世界系统或物理实体可以是电子产品、电气产品、机械产品、机电产品、粒子系统或电

磁产品。物理模型可以是电子模型、电气模型、机械模型、统计模型、粒子模型、水力模型、量子模型、地质模型、天文模型、化学模型、电磁模型或流体模型。物理模型可以是包含一个或多个方程的方程组,例如一个或多个微分方程和/或偏微分方程和/或代数方程。多物理系统通常具有子系统,子系统本身是物理或多物理系统,并且通过例如由物理定律给出的物理或逻辑关系完全相连。因此,多物理系统是一个模型,用于表示现实世界系统或具有子系统的任何物理实体,这些子系统通过物理或逻辑关系(例如机械关系(例如,对应于传递力或运动的连接)、电气关系(例如,对应于电连接,例如,在电路中)、液压关系(例如,对应于传输通量的导体)、逻辑关系(例如,对应于信息流)、流体关系(例如,对应于流体流)、化学关系和/或电磁关系)关联在一起。该系统被称为“多物理”,因为多物理系统的物理或逻辑关系可以属于物理的多个领域(尽管并非必须如此)。多物理系统的一个例子是CFD系统,其包括飞机机翼和附接到飞机机翼的至少一个飞机发动机。

[0054] 物理或多物理系统可以对应于在完成其虚拟设计之后在现实世界中要制造的工业产品,例如(例如机械)零件或零件的组装件,或更一般地,任何刚体组装件(例如移动机构)、刚体机构。CAD和/或CAE软件解决方案允许设计各种无限制的工业领域的产品,包括:航空航天、建筑、建造、消费品、高科技设备、工业设备、运输、海运和/或离岸或运输。因此,多物理系统代表一种工业产品,它可能是陆地载具(包括汽车和轻型卡车设备、赛车、摩托车、卡车和汽车设备、卡车和公共汽车、火车)的一部分(或整体),航空器(包括例如机身设备、航空航天设备、推进设备、国防产品、航空设备、太空设备)的一部分(或整体),海军载具(包括例如海军设备、商船、离岸设备、游艇和工作船、船舶设备)的一部分(或整体),机械零件(包括例如工业制造机械、重型移动机械或设备、已安装的设备、工业设备产品、金属制品、轮胎制品),机电或电子零件(包括例如消费电子产品、安全和/或控制和/或仪表产品、计算和通信设备、半导体、医疗装置和设备),消费品(包括例如家具、家庭和花园产品、休闲用品、时尚产品、硬商品零售商的产品、软商品零售商的产品),包装(包括例如食品和饮料和烟草、美容和个人护理、家用产品包装)。

[0055] 该模拟可以是在现实世界中要制造的至少一种工业产品的模拟,已经对该工业产品进行了设计。该模拟可以在其设计之后模拟至少一种工业产品的至少一种行为(例如,随时间的演变)。可以在此方法之后,在通过该方法对其进行模拟之后,在现实世界中制造至少一种工业产品。

[0056] 模拟由至少一个物理模型建模的物理或多物理系统通常包括通过计算至少一个物理模型来计算系统在时间上的物理行为的近似值(例如,随时间的演变)和/或存储结果和/或显示结果。在计算至少一个物理模型之前,可以提供至少一个网格(或网孔)和/或至少一个时间步长和/或至少一个模拟参数。所述提供可以根据用户动作来执行。该计算通常(但不总是)包括根据至少一个网格和/或至少一个时间步长离散化至少一个物理模型的一个或多个方程。可以通过使用任何已知的数值方法来进行离散化。

[0057] 模拟包括模拟状态(为简单起见,在下文中将其称为“状态”)。状态是在物理系统的物理状态的给定时间的表示,该物理系统的在时间上的行为通过模拟进行模拟。例如,物理状态可以是给定时间的任何物理量。物理学量(也称为物理量)是现象、物体或物质的物理属性,可以通过测量来量化。物理量可以是但不限于:长度、质量、时间、电流、温度、物质质量、发光强度、吸收率、吸收剂量率、加速度、角加速度、角动量、角速度(或角速率)、面积、面

积密度、电容、催化活性、催化活性浓度、化学势、裂纹、电流密度、剂量当量、动态粘度、电荷、电荷密度、电位移、电场强度、电导性、电导率、电位、电阻、电阻率、能量、能量密度、熵、力、频率、燃料效率、半衰期、热、热容、热通量密度、照度、阻抗、脉冲、电感、辐照度、强度、急拉、跳动(或瞬动)、运动粘度、线密度、光通量(或光功率)、马赫数(或mach)、磁场强度、磁通量、磁通量密度、磁化强度、质量分数、(质量)密度(或体积密度)、平均寿命、摩尔浓度、摩尔能量、摩尔熵、摩尔热容、惯性矩、动量、磁导率、介电常数、平面角、功率、压力、砰然声、(放射性)活度、(放射性)剂量、辐射率、辐射强度、反应速率、折射率、磁阻、立体角、速度、比能量、比热容、比容、自旋、应变、应力、表面张力、温度梯度、导热率、扭矩、速度、体积、体积流量、波长、波数、波矢、重量、功、杨氏模量。状态也可以是物理量的向量。该模拟包括初始时间和最终时间,以及在初始时间和最终时间之间包括的至少一个(即一个或多个)时间步长。每个时间步长都有一个状态,包括初始时间和最终时间。

[0058] 计算完全模拟意味着计算所有模拟结果,模拟结果是包含表示状态的信息的数据。因此,计算完全模拟意味着基本上计算了始终代表所有状态的所有信息。可以通过使用任何已知的数值方法和/或任何能够在不同时间步长导出模拟结果的现有计算机程序来计算完全模拟。图3示出了说明完全模拟的示例的图。完全模拟30是物理模拟。完全模拟30包含n个状态32、34、36。

[0059] 该方法进一步包括计算(S20)所计算的完全模拟的缩减模型。

[0060] 计算的完全模拟的缩减模型(reduced model)是通过使用降阶建模(Reduced order Modeling)技术从模拟中计算出的模型。降阶建模(ROM)是缩减数学模型的维数和计算复杂度的技术。ROM(以下称为缩减模型)是从高保真模拟(例如,计算的完全模拟)构建的,并且随后可以用于生成用于较低计算的模拟。ROM方法的一个示例是Galerkin投影(例如,参见Rowley, Clarence W., Tim Colonius和Richard M. Murray, “Model reduction for compressible flows using POD and Galerkin projection(使用POD和Galerkin投影对可压缩流进行模型缩减)”, *Physica D: Nonlinear Phenomena* 189.1-2(2004): 115-129, 以及Barone, Matthew F.等人, “Reduced order modeling of fluid/structure interaction(流体/结构相互作用的降阶建模)” Sandia National Laboratories Report, SAND No 7189(2009): 44-72, 该方法在流体动力学中特别常见。Galerkin投影方法使用适当的正交分解(POD)来减小流动模拟的维数,然后在该减小的空间上找到动力学。在此基础上还有其他方法,例如缩减基础方法和平衡截断(例如,参见Veroy, K.和A.T. Patera, “Certified real-time solution of the parametrized steady incompressible Navier-Stokes equations: rigorous reduced-basis a posteriori error bounds(经过验证的参数化稳定不可压缩Navier-Stokes方程的实时解:严格的缩减基础后验误差界限)”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 47.8-9(2005): 773-788. 以及Rowley, Clarence W的“Model reduction for fluids, using balanced proper orthogonal decomposition(用于流体的模型缩减,使用平衡适当正交分解)”, *Modeling And Computations In Dynamical Systems: In Commemoration of the 100th Anniversary of the Birth of John von Neumann*. 2006. 301-317)。一般而言,ROM使用诸如POD或单值分解(SVD)之类的技术从计算的完全模拟的状态中计算基础。这个基础代表了模拟的主要组成部分。SVD提供了一种将矩阵因式分解为奇异向量和奇异值的方法。SVD允

许发现某些与本征分解相同类型的信息,并且可以例如表示机械系统的主要组成部分。众所周知的是“Model Order Reduction (模型降阶)”,Francisco Chinesta, Antonio Huerta, Gianluigi Rozza和Karen Willcox, Encyclopedia of Computational Mechanics, 由Erwin Stein, René de Borst和Thomas J.R. Hughes编辑, 2004。根据该方法的缩减模型的计算使用ROM的任何技术,例如以上参考文献中所述的技术。

[0061] 在任何情况下,所计算的缩减模型都包含具有元素的基础。该基础可以称为缩减基础。这些基础的元素在下文中将被称为基础元素。计算的完全模拟的每个状态由基础元素的相应线性组合表示。因此,相应的线性组合也称为其表示的状态的状态表示。相应线性组合也可以称为其表示的状态的缩减状态。换句话说,对于所计算的完全模拟的每个状态,该方法计算该状态的表示。所计算的表示是属于由基础元素跨越的向量空间的向量,该基础是所述向量空间的向量基础。基础元素是从所计算的完全模拟计算得出的因式分解的组成部分。基础元素也可以称为模式。在示例中,基础元素是通过模拟所模拟的物理系统的能量模式。每个状态表示近似于它表示的状态。

[0062] 基础可以写成 $B = (e_1; e_2; \dots; e_n)$ , 其中 $e_i$ 是基础元素。任何状态 $state(t)$ 都可以在时间 $t$ 处以其状态表示 $PState(t)$ 表示,该状态表示是这些基础元素的线性组合,如下所示:

[0063]  $PState(t) = w_1(t) * e_1 + w_2(t) * e_2 + \dots + w_n(t) * e_n$  (公式(1))。

[0064] 这里, $w_i$ 是用于计算状态表示 $PState(t)$ 的每个基础元素的贡献的权重。说基础元素对线性组合有贡献,就是说其贡献权重在线性组合中不为零。基础 $B$ 随时间保持恒定,并且只有权重会随时间演变。及时更新权重使模拟结果及时推进。计算所计算的完全模拟的缩减模型包括计算基础 $B$ 的所有元素以及所有时间 $t$ 的所有权重,其是包括在模拟的初始时间和最终时间之间的时间步长。因此,一旦计算出缩减模型,则通过使用公式(1),表示在任何时间步 $t$ 处所计算的完全模拟的任何状态 $state(t)$ 的任何缩减状态 $PState(t)$ 是可用的。

[0065] 图4是示出缩减模型的计算的示例的图。该计算将在完全模拟的所有时间步长处所计算的完全模拟的状态40作为输入。该计算包括基础的计算42,该基础基于所计算的完全模拟的所有状态40。在图4的示例中,所计算的基础是所计算的完全模拟的模式44的基础。换句话说,基础元素在此示例中是所计算的完全模拟的因式分解的结果。快照50、52和54的三个屏幕快照在图5中示出。

[0066] 该方法进一步包括针对完全模拟的至少一个(即一个或多个)状态显示(S40)相应线性组合的一部分。因此,显示可以针对一种状态。它也可以针对几种状态,例如根据时间迭代,可以同时或连续显示这些状态。表示状态的相应线性组合的一部分可以称为状态近似或全状态近似。

[0067] 换句话说,该方法包括以下步骤:对于完全模拟的至少一个时间步长 $t$ ,该方法显示在时间 $t$ 处形成状态 $state(t)$ 的状态表示 $PState(t)$ 的线性组合的一部分。线性组合的一部分表示所述线性组合在由贡献于线性组合的基础元素的子族跨越的向量空间上的线性向量投影。例如,取在时间步长 $t$ 的状态 $state(t)$ 的状态表示 $PState(t)$ ,由公式(1)给出。形成 $PState(t)$ 的线性组合的一部分如下:

[0068]  $w_{n_1}(t) * e_{n_1} + w_{n_2}(t) * e_{n_2} + \dots + w_{n_p}(t) * e_{n_p}$  (公式(2)),

[0069] 其中 $[|n_1, n_2, \dots, n_p|]$ 是 $[|1, 2, \dots, n|]$ 的非空子集, $p$ 是一个正整数, $e_i$ 是关于公式(1)讨论的基础元素, $w_i$ 是关于公式(1)讨论的每个基础元素的贡献的权重。集合的子集应

以其数学含义来理解：它可以是集合的一部分或整个集合。对于这些标记，上面的意思是，对于至少一个时间步长 $t$ ，该方法显示由形成状态表示 $PState(t)$ 的相应线性组合的公式(2)给出的部分。所述方法可以例如同时地或接连地进行对于多几个时间步长的如此显示。应当注意，对显示的相应线性组合的部分有贡献的基础元素越多，显示越准确，并且模拟显示所需的数据量越大。换句话说， $p$ 越大，模拟的显示越准确且成本更高。

[0070] 在示例中，同时显示表示所有模拟状态的线性组合的几个部分。在这些示例中，基于包括所述几个部分的组合来重构完全模拟。重构意味着根据组合创建完全模拟的近似（因此，数据的成本较低）。重构的完全模拟也可以在显示(S40)处显示。

[0071] 在示例中，基础元素的任何线性组合与相应的模拟压缩率和相应的重构误差相关联。

[0072] 计算的缩减模型提供了一组线性组合，可用于模拟显示。这些线性组合中的每一个都与相应的模拟压缩率相关联，因此它们与模拟显示所需的数据量直接相关。压缩率的值确实对应于传输的数据量，并且数据量越大，压缩率的值越小。换句话说，显示一个相应的线性组合的一部分意味着确定要为模拟显示而传输的一定量的数据。而且，由于这些线性组合中的每一个都与相应的重构误差相关联，因此它们与模拟显示的准确性直接相关。换句话说，显示一个相应的线性组合的一部分意味着固定/要求一定的准确性，一定的质量的模拟显示。这也意味着数据量与准确性相关：数据量越大，准确性越好，反之亦然。

[0073] 基础元素的相应线性组合的相应重构误差是相应线性组合（或适当情况下，相应线性组合的一部分）形成的状态近似与状态近似表示和近似的相应状态之间的数学比较。

[0074] 在示例中，误差的计算如下。取时间步长 $t$ ，在该时间步长处状态 $state(t)$ 及其状态表示 $PState(t)$ 由公式(1)给出。然后，与线性组合 $PState(t)$ 相关联的相应重构误差由下式给出：

[0075]  $state(t) - PState(t)$ ，（公式(3)）

[0076] 其中 $\cdot$ 是任何合适的已知范数。同样，取公式(2)给出的线性组合 $PState(t)$ 的一部分，则与该部分相关联的误差为

[0077]  $state(t) - w_{n1}(t) * e_{n1} + w_{n2}(t) * e_{n2} + \dots + w_{np}(t) * e_{np}$ （公式(4)）

[0078] 公式(3)和(4)中的参数是参考公式(1) a (4)讨论的参数。线性组合中的基础元素越多，其相应的重构误差就越小，并且显示线性组合的结果就越准确。

[0079] 在针对若干状态显示相应线性组合的一部分的示例中，该方法可以包括计算与相应线性组合的所有显示的部分相关联的所有相应重构误差的所有平方和。计算得出的总和提供了相应线性组合的所有显示部分的公共误差。例如，假设显示在时间步长 $t_1, t_2, \dots, t_m$ 的状态 $state(t_1), state(t_2), \dots, state(t_m)$ 的状态表示 $PState(t_1), PState(t_2), \dots, PState(t_m)$ 。那么公共误差是

[0080]  $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|state(t_i) - PState(t_i)\|^2$ 。（公式(5)）

[0081] 类似地，当考虑由公式(2)给出的状态表示 $PState(t_1), PState(t_2), \dots, PState(t_m)$ 的部分时（适用于 $t = t_1, t_2, \dots, t_m$ ），公共误差写为

$$[0082] \quad \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|state(t_i) - (w_{n1}(t_i) * e_{n1} + w_{n2}(t_i) * e_{n2} + \dots + w_{np}(t_i) * e_{np})\|^2。$$

(公式 (6))

[0083] 相应压缩率是例如根据公式 (1) 用于显示状态state(t) 的要传输的数据量与用于显示形成近似并表示状态state(t) 的状态表示PState(t) 的相应线性组合的要传输的数据量之间的比率。在适当的情况下, 例如, 相应的压缩率是例如根据公式 (2) 用于显示状态state(t) 的要传输的数据量与用于显示形成PState(t) 的相应线性组合的一部分的要传输的数据量之间的比率。线性组合中的基础元素越多, 其相应的重构误差就越小, 并且为显示线性组合而要传输的数据量也就越大。相反, 线性组合中的基础元素越少, 其相应的重构误差就越大, 并且为显示线性组合而要传输的数据量就越小。

[0084] 图6示出了与形成一个状态的状态表示的线性组合的不同相应部分相关联的不同重构误差。在列60中是对线性组合的不同部分有贡献的基础元素的数量。在列62中是与每个部分相关联的相应模拟误差。在列64中, 显示了线性组合的相应不同部分。在列68中, 为了比较的目的, 重复显示所述一种状态。如图6所示, 对该部分有贡献的基础元素越多, 相应的重构误差越小, 并且状态的近似越准确。图6的示例因此示出了模式数目对重构误差的影响。

[0085] 在示例中, 基础元素是有序的。在这些示例中, 有序基础元素中的第一个元素对相应线性组合中的显示的部分有贡献。

[0086] 对基础元素进行排序并要求至少第一元素对线性组合的部分有贡献, 这允许确保针对模拟显示的最低的准确性。

[0087] 对基础元素进行排序意味着, 如上所述, 可以将基础写成 $B = (e_1; e_2; \dots; e_n)$ , 但是 $e_1$ 是第一元素,  $e_2$ 是第二元素, 等等, 而 $e_n$ 是最后元素。换句话说, 基础元素被索引, 索引给出了顺序。在示例中, 顺序与显示的准确性相连: 如果第一元素是对线性组合的部分有贡献的唯一基础元素, 则线性组合的部分具有相应重构误差, 其小于仅第二个基础元素有贡献的线性组合的部分的相应重构误差, 其本身的相应重构误差小于仅第三个基础元素有贡献的线性组合的部分的相应重构误差, 等等。例如, 如果在时间步长t处的状态state(t) 由公式 (1) 给出的PState(t) 表示, 那么对于所有整数 $1 \leq p \leq q \leq n$ ,

$$[0088] \quad state(t) - w_p(t) e_p \leq state(t) - w_q(t) e_q。 \quad (公式 (7))$$

[0089] 这与时间步长t无关。换句话说, 基础元素的顺序遵循其递增准确性以进行模拟显示。

[0090] 该方法还可以包括: 在显示 (S40) 相应线性组合的部分之前, 为要显示的模拟的一个或多个下一个状态选择 (S30) 对相应线性组合的部分有贡献的一定数量的基础元素。

[0091] 选择该数量的基础元素会影响一个或多个下一个状态的显示准确性和成本。对于下一个状态, 它可以增加或减少相应的重构误差或相应的模拟压缩率。换句话说, 该选择允许控制显示的准确性和要为该显示传输的数据量, 从而允许控制模拟显示所必需的网络, 同时确保一定的显示准确性。

[0092] 选择 (S30) 该数量的基础元素意味着, 选择 (S30) 所涉及的任何线性组合的任何部分都将具有一定数量的有贡献的基础元素, 而这些有贡献的基础元素正是所选的数量。表述一个或多个下一个状态是指通过该方法对其进行显示 (S40) 的至少一个状态。这意味着

可以针对至少一个状态的一个、部分状态或所有状态执行选择 (S30)。在示例中,对至少一个状态的所有状态执行一次选择 (S30),这意味着相同数量的基础元素对表示至少一个状态的每个状态的相应线性组合的所有部分有贡献。在这些示例中,可能是完全相同的基础元素有贡献。选择 (S30) 可以自动执行,也可以根据用户的动作进行。

[0093] 在示例中,基础元素是有序的,并且第一基础元素始终对显示的任何线性组合的任何部分有贡献。在这些示例中,选择元素数量 (例如N个) 可能导致N个第一基础元素对显示的任何线性组合的任何部分有贡献。

[0094] 该方法可以进一步包括,在显示 (S40) 相应线性组合的一部分之后,针对要显示的一个或多个下一个状态,选择 (S50) 对相应线性组合的一部分有贡献的新数量的基础元素。由此,针对一个或多个状态的每一个创建相应的线性组合的新部分。该方法可以进一步包括相应线性组合的新部分的显示 (S60)。

[0095] 该方法允许提高准确性,这意味着信息是累积的。如果从物理的观点来看先前的显示 (S40) 的准确性不令人满意,则可以增加对线性组合的一部分有贡献的元素的数量,从而达到令人满意的准确性。同样,该方法允许避免网络瓶颈。假设要为先前的显示 (S40) 传输的数据量导致或遇到网络瓶颈。然后,可以减少对线性组合的一部分有贡献的元素的数量,以便减轻网络使用和/或节省带宽的使用。类似地,该方法允许避免执行模拟的计算机系统上的瓶颈,例如模拟使用过多的计算资源和/或存储器,和/或使计算机系统的其他元素 (如存储、总线等) 不堪重负。可以减少对线性组合的一部分有贡献的元素的数量,从而减少计算机系统的使用。

[0096] 新数量的选择 (S50) 可以被执行为先前的选择 (S30)。

[0097] 在示例中,基础元素是有序的,并且第一基础元素始终对显示的任何线性组合的任何部分有贡献。在这些示例中,在先前选择 (S30) 处选择的元素的数量 (例如N个) 可能导致N个第一基础元素对显示的任何线性组合的任何部分有贡献。选择 (S50) 新数量 (比如M个) 的元素包括从已经有贡献的N个第一基础元素中添加或删除一个或多个基础元素,这样现在正是M个第一基础元素将对要显示的模拟的一个或多个状态中的每个状态的相应线性组合的新部分有贡献。

[0098] 在示例中,迭代 (S70) 新数量的基础元素的选择 (S50) 和新部分的显示 (S60)。

[0099] 因此该方法非常灵活。实际上,对显示部分有贡献的基础元素的数量可以在一段时间内进行修改,例如在模拟时间期间。因此,可以始终更新或更改模拟显示的准确性以及网络使用。这允许模拟显示尽可能准确,同时实时考虑带宽和/或使用和/或可能的瓶颈,并因此采取行动减轻网络/带宽的使用 (通过执行新的选择 (S50))。值得注意的是,该方法非常适合于自动执行,例如用于尽可能准确地自动且实时地显示一系列模拟结果,例如,所有状态的时间序列,同时自动并实时地遵守网络/带宽使用的约束。换句话说,该方法可以自动且实时地使显示准确性适应可用网络。

[0100] 迭代的长度/持续时间可以是预定的。例如,它可以对应于模拟长度。在示例中,迭代的每个增量对应于模拟的一个时间步长。在这些示例中,可能会发生以下情况:在模拟过程中,所有状态将按其位置的时间顺序相继显示。这意味着在模拟的每个时间步长,都会显示表示该时间步长状态的线性组合的对应部分。结果是按其时间顺序显示了状态的近似。这可以连续进行,从而连续显示完全模拟的近似,例如允许观察模拟物理系统随时间的演

变。

[0101] 在每次显示 (S70) 之前进行选择 (S50)。迭代 (S70) 可以由计算机自动执行。例如,可以向计算机实时提供网络使用的测量,然后执行每个选择 (S50),以便在执行下一个显示时,用于模拟显示的数据量不会引起网络瓶颈。迭代 (S70) 还可以涉及用户与计算机的交互。在示例中,用户可以例如通过与计算机的GUI交互来执行迭代 (S70) 的每个选择 (S50)。如果下一个显示 (S70) 不适合用户,例如,如果没有达到一定的准确性要求,则用户可以执行下一个选择 (S50),以增加有贡献的基础元素的数量。在示例中,在每个显示 (S60) 处向用户提供网络使用的测量,并且因此可以执行下一个选择 (S50),以便增加或减少有贡献的基础元素的数量,例如,以避免瓶颈。

[0102] 在基础元素的任何线性组合与相应的模拟压缩率和相应的重构误差相关联的示例中,可以执行每个选择 (S50),使得对于要显示的一个或多个下一个状态,相应的线性组合的一部分的相应模拟压缩率达到给定值。可替代地,可以执行每个选择 (S50),使得对于要显示的一个或多个下一个状态,相应线性组合的一部分的相应重构误差达到给定值。

[0103] 通过设置针对模拟压缩率或重构误差的要到达的值,该方法可确保显示准确性与传输速度(因此网络使用)之间的平衡。

[0104] 模拟压缩率的给定值(相应地,重构误差)是为了确保给定的传输速度(相应地,给定的准确性)而确定(例如,由用户预先确定或选择的)的压缩率(相应地,重构误差)的值。

[0105] 为了达到模拟压缩率的给定值(相应地,重构误差),每个选择 (S50) 包括对以下的迭代:

[0106] -基于当前数量的有贡献的基础元素,确定要显示的相应线性组合的一个或多个下一部分的相应模拟压缩率(相应地,重构误差),

[0107] -将要显示的相应线性组合的一个或多个下一部分的相应模拟压缩率(相应地,重构误差)与给定值进行比较,

[0108] -如果要显示的相应线性组合的一个或多个下一部分的相应模拟压缩率(相应地,重构误差)与给定值不基本相等,则选择 (S50) 新的基础元素的数量,并且依此类推,直到要显示的一个或多个下一个部分的相应模拟压缩率(相应地,重构误差)基本上等于给定值。

[0109] 在示例中,上述迭代仅包括一个增量,这意味着所选的新数量直接导致要显示的相应线性组合的一个或多个下一部分的相应模拟压缩率(相应地,重构误差)与给定值之间的基本相等。因此,在这些示例中,单次计算即可达到给定值。应当理解,给定值对于每个选择 (S50) 可以是相同的,或者可以在该方法的执行期间改变,例如在某个选择 (S50) 处或在它们中的每个处。

[0110] 可以确定模拟压缩率的给定值,以使得通过网络发送的用于显示模拟的数据量低于阈值。

[0111] 确保数据量保持在阈值以下意味着将优先被给予网络使用。简而言之,该方法提供了最大显示准确性,其遵守了可传输的数据量受阈值限制的约束。

[0112] 网络具有网络负载,该网络负载对应于当前通过网络传输的数据量。网络负载通常以每秒比特数来测量。网络负载至少包括为显示模拟而发送的模拟的数据,并且它还可以另外包括其他类型流量的数据。要求通过网络发送的用于显示模拟的数据量(例如数据容量)保持在阈值以下,这是要求对应的网络负载不超过给定的网络负载;在所有情况下,

与通过网络发送的用于显示模拟的数据量相对应的网络负载不应超过网络可以承受的最大网络负载。该阈值可以由用户固定。该阈值可以由计算机基于网络上的测量自动确定；最大网络负载和正在测量的当前网络负载（例如当前网络使用被测量），差异为模拟的数据提供了可用的网络负载，并且可以作为阈值。如上所述，压缩率对应于数据量。因此，数据量保持在阈值以下的要求是要求压缩率保持在与阈值相对应的某个值以上。确定模拟压缩率的给定值，以使得通过网络发送的用于显示模拟的数据量低于阈值，并且在选择（S50）时达到给定值意味着相应线性组合的显示部分的模拟压缩率使得用于显示模拟的网络负载不会导致达到最大网络负载。

[0113] 可以确定重构误差的给定值，以使得要显示的模拟的准确性符合要求。

[0114] 确保显示准确性符合要求意味着优先被给予显示准确性。简而言之，该方法旨在最大化显示准确性。

[0115] 说显示准确性符合要求意味着显示部分的误差（在适当情况下，公共误差）保持在最大误差值以下。实际上，部分的重构误差值越大，部分显示的准确性就越低。最大误差值可以例如由用户预先确定。可以通过设置最大误差值来确定重构误差的给定值，并且使其小于最大误差值。因此，根据最大误差值设定准确性要求。这样，确定重构误差的给定值并执行选择（S50）以达到给定值意味着所有显示部分的误差（在适当的情况下，公共误差）保持在最大误差值以下。

[0116] 在示例中，确定用于以最大准确性显示模拟的给定值，同时最小化通过网络发送的数据量。

[0117] 这样确定给定值优化了准确性和传输速度之间的平衡。

[0118] 确定给定值，以使显示准确性最大，同时将数据量最小化，这意味着网络应尽可能大量地使用，但要求网络负载保持在最大网络负载以下。换句话说，通过网络发送的数据量应使网络负载基本上等于最大网络负载。因此，为达到最大可能的显示准确性而发送的数据量被最小化。就基础元素而言，这意味着所显示部分的有贡献的基础元素的数量应尽可能大，但要满足这样的约束：所达到的压缩率给定值应使网络负载基本等于最大网络负载。

[0119] 在示例中，可以根据用户动作来选择阈值。

[0120] 在示例中，可以根据用户动作来选择要求。

[0121] 因此，在这些示例中，用户控制显示准确性和/或带宽/网络使用。

[0122] 该选择可以在该方法的初始阶段执行；在这种情况下，阈值或要求对于所有选择（S50）都是共同的。它也可以在方法执行期间的任何时候进行，例如在适当的情况下以选择（S50）和显示（S60）的迭代的任何增量进行。该选择可以进一步在用户与计算机的GUI交互时执行。

[0123] 现在将参考图7-10讨论该方法的不同示例。

[0124] 图7a和7b示出了图，其说明了执行一个选择（S50）以达到给定值的示例。

[0125] 在图7a的示例中，确定模拟压缩率的给定值，使得与为模拟显示而传输的数据量相对应的网络负载等于最大网络负载。最大网络负载可以由计算机自动选择，也可以根据用户的动作来选择。最大网络负载使得对应的传输数据量低于阈值。进行对要显示的相应线性组合的部分有贡献的基础元素的当前数量的检测70。作为检测的结果，计算相应线性组合的部分的相应模拟压缩率，并确定该压缩率大于给定值。作为响应，添加一个或多个有

贡献的基础元素以对部分做出贡献。进行新的对应网络负载的计算72。在一个选择(S50)期间,可以重复检测70和随后的计算72,直到要显示的相应线性组合的部分的相应模拟压缩率达到给定值为止,或者等效地,直到网络负载达到最大网络负载。

[0126] 在图7b的第二示例中,确定重构误差的给定值,使得其小于最大误差值。最大误差值可以由计算机自动选择,或者根据用户动作来选择。要求给定值小于最大误差值符合准确性要求。对要显示的相应线性组合的部分有贡献的基础元素的当前数量进行检测74。计算相应线性组合的部分的相应重构误差,并且确定该重构误差大于给定值。作为响应,添加一个或多个有贡献的基础元素以对该部分做出贡献。进行相应线性组合的新部分的新的相应重构误差的计算76。在一个选择(S50)期间,可以重复检测74和随后的计算76,直到要显示的相应线性组合的部分的相应重构误差达到给定值为止,因此低于最大误差值。这意味着模拟显示符合准确性要求。

[0127] 图8示出了根据最佳用户体验确定给定值的示例,该最佳用户体验是以最大准确性显示模拟,同时最小化通过网络发送的数据量。具体来说,最大准确性等于80%,而最小数据量使得网络使用等于30%。向用户显示设置窗口80,并且用户选择最佳体验设置86。显示网络使用的视觉指示82。视觉指示82包括网络使用的状态栏820和最佳体验网络使用是30%的视觉信息822。显示准确性的视觉指示84。视觉指示84包括准确性的状态栏840和最佳体验网络使用为80%的视觉信息842。最佳设置可以由系统自动提出,并确保准确性和传输速度之间的最佳平衡。

[0128] 图9示出了设置窗口80的另一显示以及另一用户的设置选择。用户已经选择了定制准确性设置96。该设置允许用户选择准确性要求。显示准确性的视觉指示90。它包括准确性的状态栏902和状态栏902上的光标904。要选择要求,用户沿状态栏902来移动光标904,例如通过使用触摸或触觉设备与GUI进行交互,直到达到所需的准确性要求。在用户移动光标904时,自动确定重构误差的给定值:实际上,如已经说明的,重构误差与模拟显示的准确性直接相关。同时,该方法显示用户选择的准确性所需的网络使用的视觉信息92。视觉指示92包括网络使用状况的状态栏920和对应于用户对准确性要求的选择的网络使用为5%的视觉信息922。在示例中,可以显示信息,例如嘈杂的和/或可视的弹出窗口,以通知用户他/她对准确性要求的选择不触发可能导致瓶颈的太重要的网络使用情况。在这些示例中,该信息可以包括降低准确性要求的建议,可能表明从网络使用的测量确定的合适的准确性级别。

[0129] 图10示出了设置窗口80的另一显示以及另一用户的设置选择。用户选择了自定义带宽设置106。此设置允许用户选择带宽/网络使用。在图10的示例中,选择使用等同于选择阈值。显示网络使用的视觉指示100。它包括网络使用的状态栏102和状态栏102上的光标104。要选择使用,用户沿着状态栏102移动光标104,例如通过使用触摸或触觉设备与GUI进行交互,直到达到所需的网络使用为止。当用户移动光标104时,将自动确定模拟压缩率的给定值:实际上,如已经说明的,重构误差与模拟显示的准确性直接相关。同时,该方法显示由用户选择的带宽使用所需的显示准确性的视觉信息110。准确性的视觉指示110包括网络使用的状态栏112以及与用户对网络使用的选择相对应的准确性为80%的视觉信息114。可以理解,系统自动调整准确性,以符合用户对带宽使用的要求。

[0130] 在所有上述示例中,应当理解,设置窗口80的显示和后续用户的选择可以在方法

的初始阶段执行一次,在这种情况下,给定值在所有方法步骤中保持固定。可替代地,可以在每次显示之前(S60)或在某些显示(S60)之前执行设置窗口80的显示和随后的用户选择。在示例中,可以在该方法的整个执行期间显示设置窗口,并且用户可以基本上实时地从一个设置切换到另一设置。设置窗口80的每个显示可以自动地并且可能响应于用户请求(例如,用户与GUI的交互)而被执行。此外,可以显示窗口80,使得任何模拟显示(即,相对于一个或多个显示(S60))在屏幕上是完全可见的,例如,通过在模拟显示的旁边、上方或下方显示设置窗口80。设置窗口80可以是窗口小部件(或其一部分)。

[0131] 现在将参考图11描述该方法的另一示例。

[0132] 该方法可以包括离线阶段2000和在线阶段2100。离线阶段2000包括计算(S10)完全模拟2020。结果,计算了所有状态2040。所计算的完全模拟可以被存储用于多种用途。在线状态2000还包括计算(S20)缩减模型,其包括缩减基础2080和权重的计算2060,该计算将所计算的完全模拟2020的状态2040作为输入。该方法还包括在线阶段2100。在线阶段2100包括:基于状态2040、权重和缩减的基础2080,形成2120至少一个缩减的状态。在线阶段2100还包括多个有贡献基础元素的选择(S30),这触发缩减基础2080的对应合适子集传输2180。在线阶段2100还包括将子集和至少一个缩减状态2120组合2140,这导致显示(S30)对应于至少一个缩减状态2120的至少一个完全状态近似2160。

[0133] 在示例中,完全模拟的计算(S10)和所计算的完全模拟的缩减模型的计算(S20)在第一计算机上执行。在这些示例中,其他步骤在第二计算机上执行。在这些示例中,第一和第二计算机通过网络连接。第一计算机可以是服务器,该服务器可以包括存储用于计算完全模拟的数据的存储单元(例如数据库)。第二计算机可以是计算机客户端,例如台式计算机、膝上型电脑、平板电脑、智能手机等等。

[0134] 在这些示例中,第一和第二计算机可以是根据图2的计算机。应当理解,第一计算机和第二计算机中的每一个的最低要求是中央处理单元(CPU)1010,该中央处理单元(CPU)1010与存储器通信地耦合,该存储器存储用于执行该方法的一个或多个步骤的指令。第二计算机可以适合于向用户显示模拟。第二计算机可以适合于向用户显示图7a、7b、8、9和10的设置窗口80。在示例中,根据图11的离线阶段2000和在线阶段2100可以分别在第一计算机和第二计算机上执行。

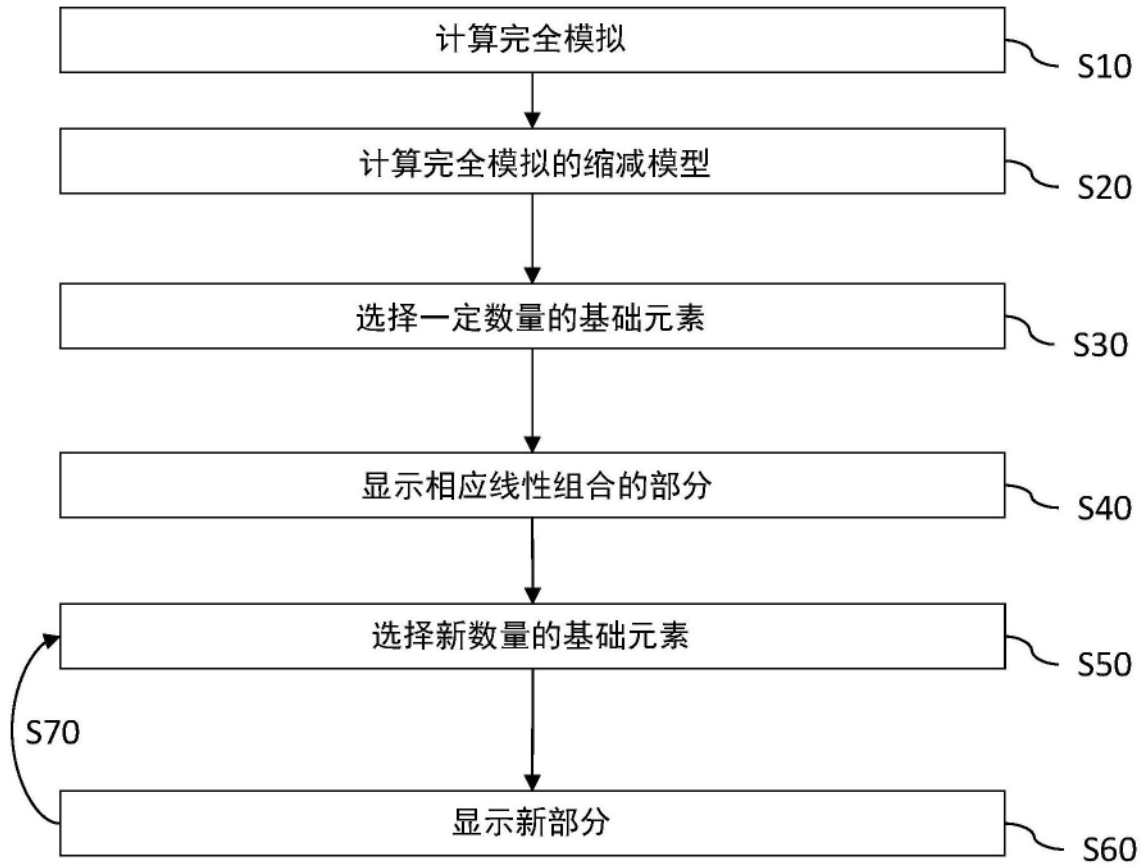


图1

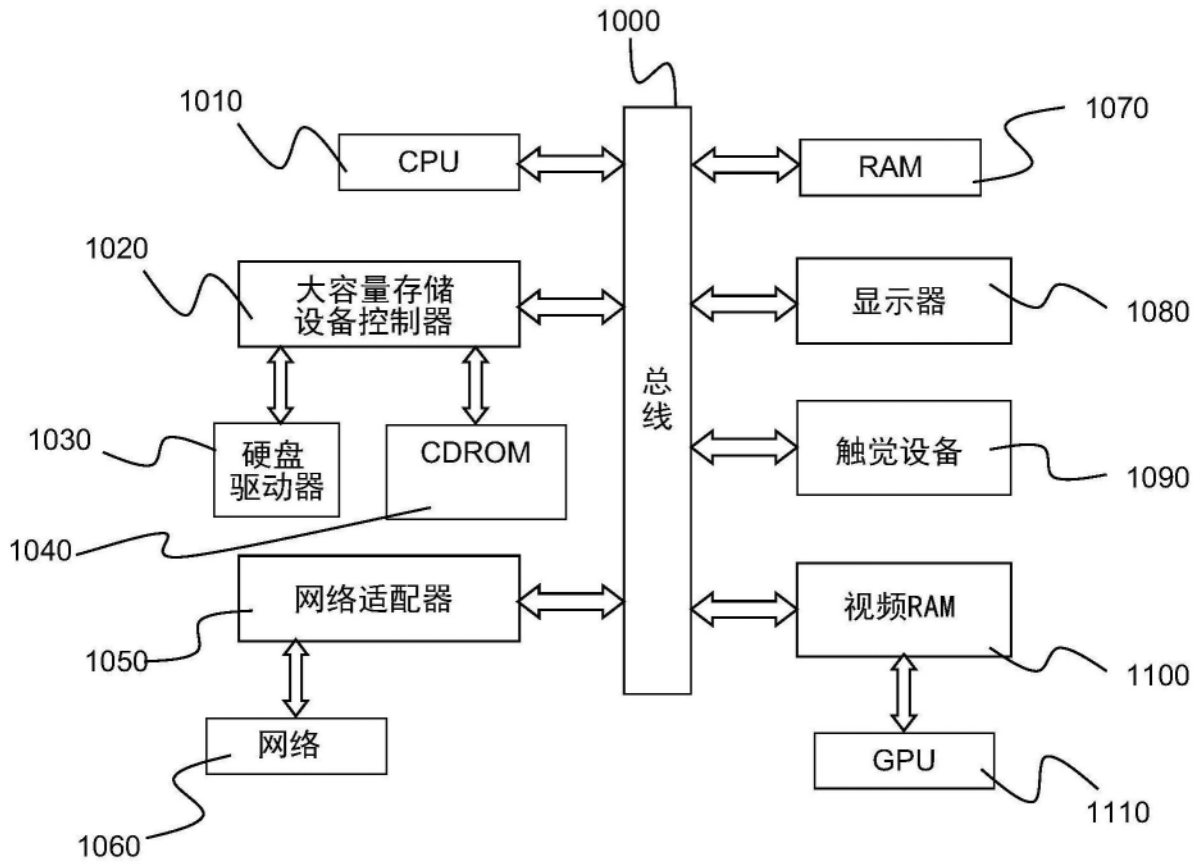


图2

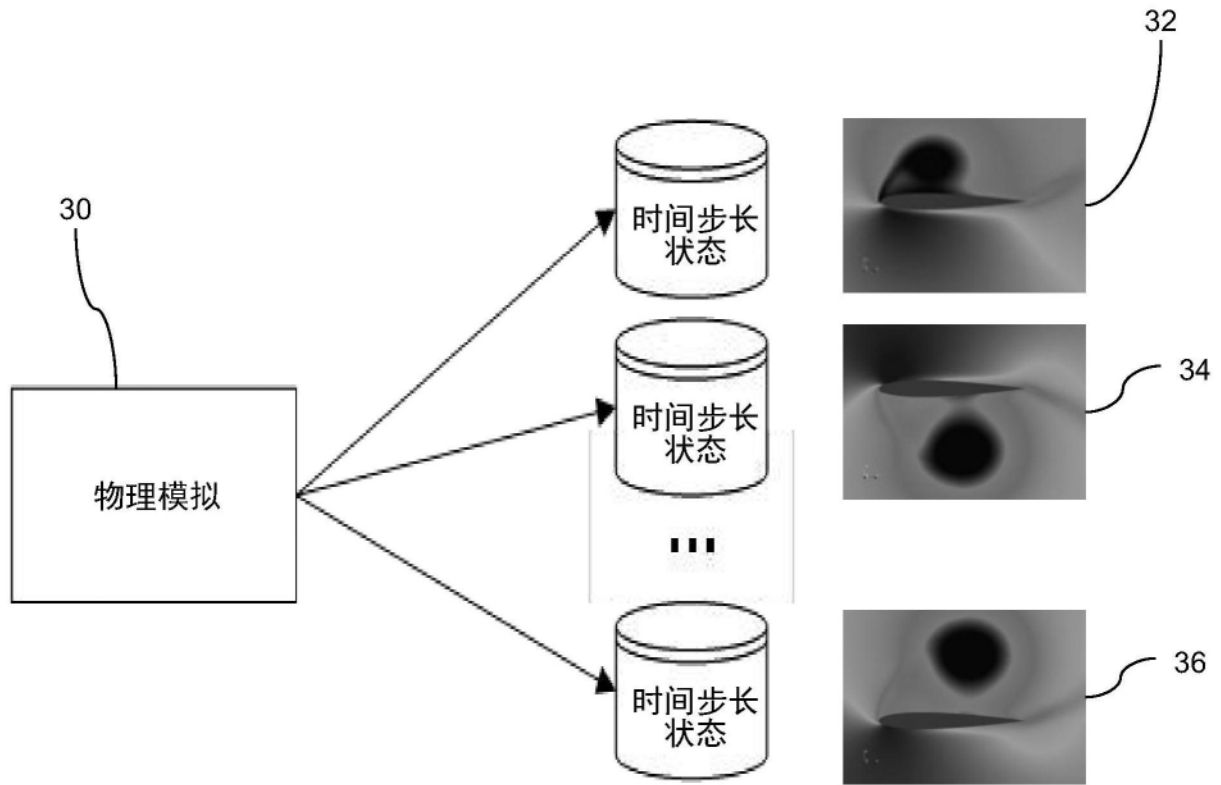


图3

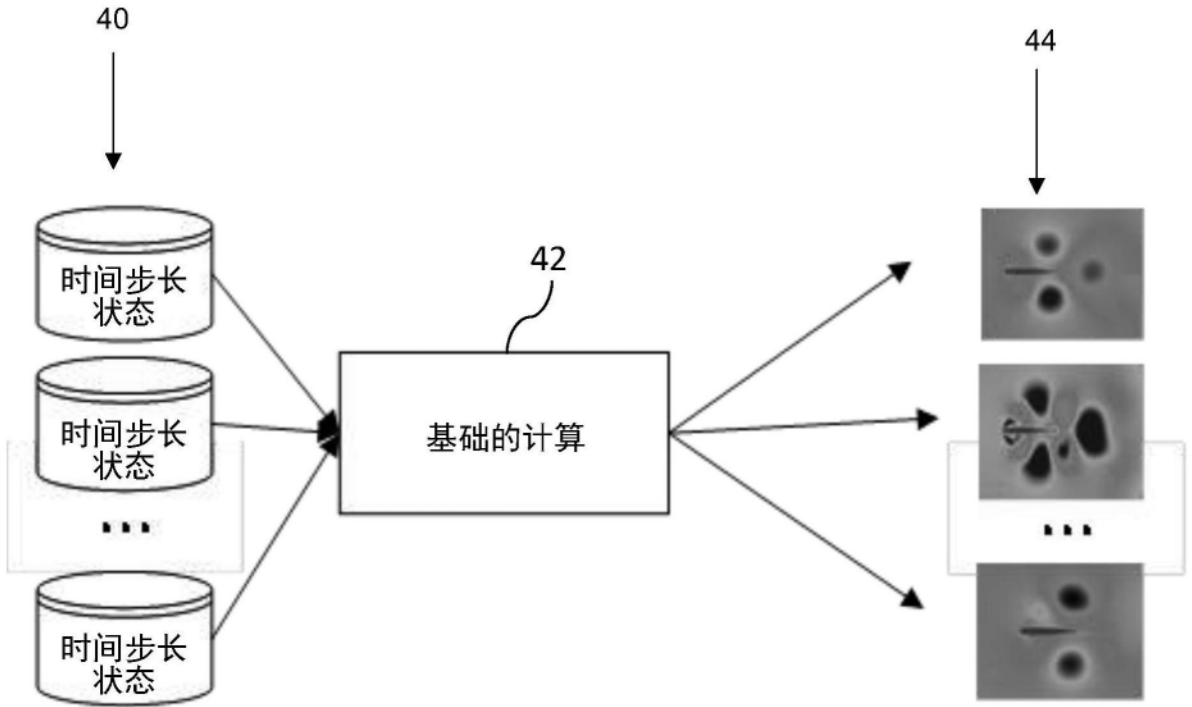


图4

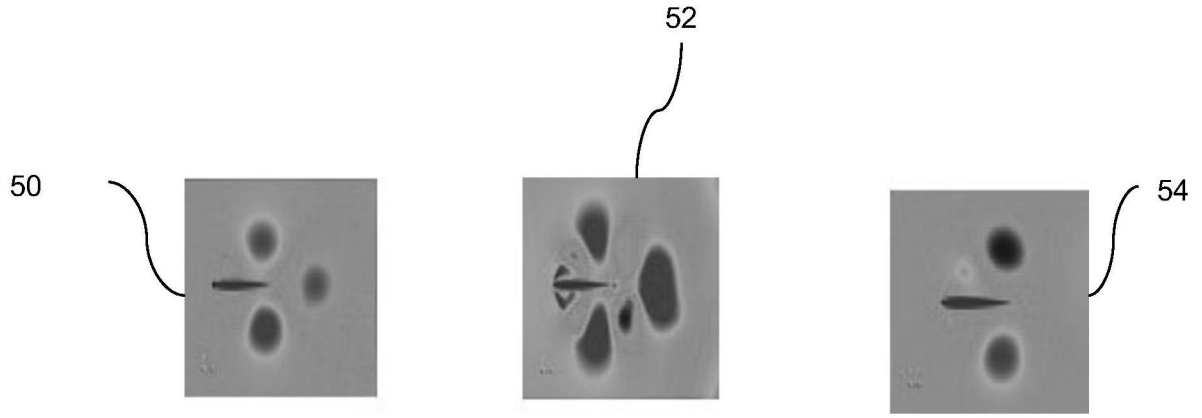
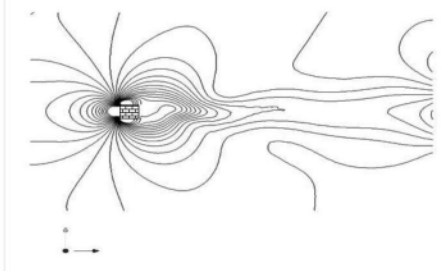
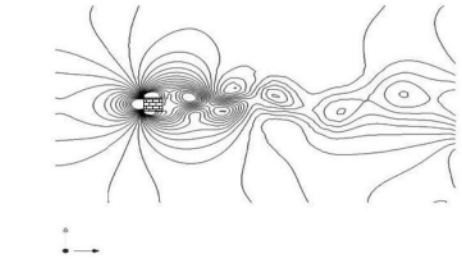
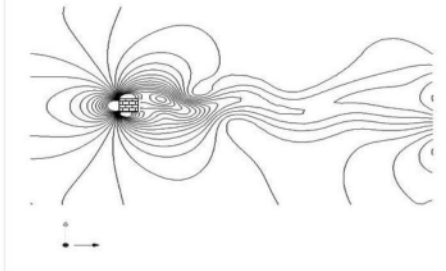
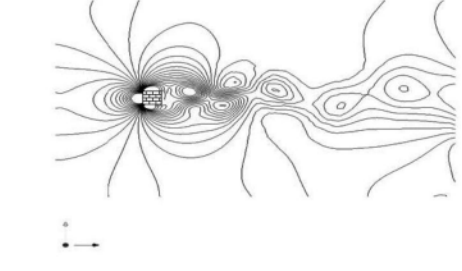
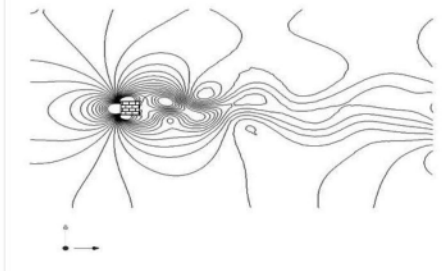
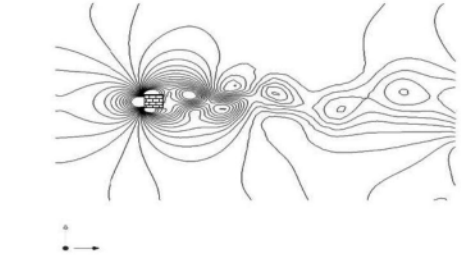


图5

N个模式	误差	压缩结果	原始结果
1	5.19%		
2	3.1%		
3	0.95%		

60  
↑

62  
↑

64  
↑

68  
↑

图6

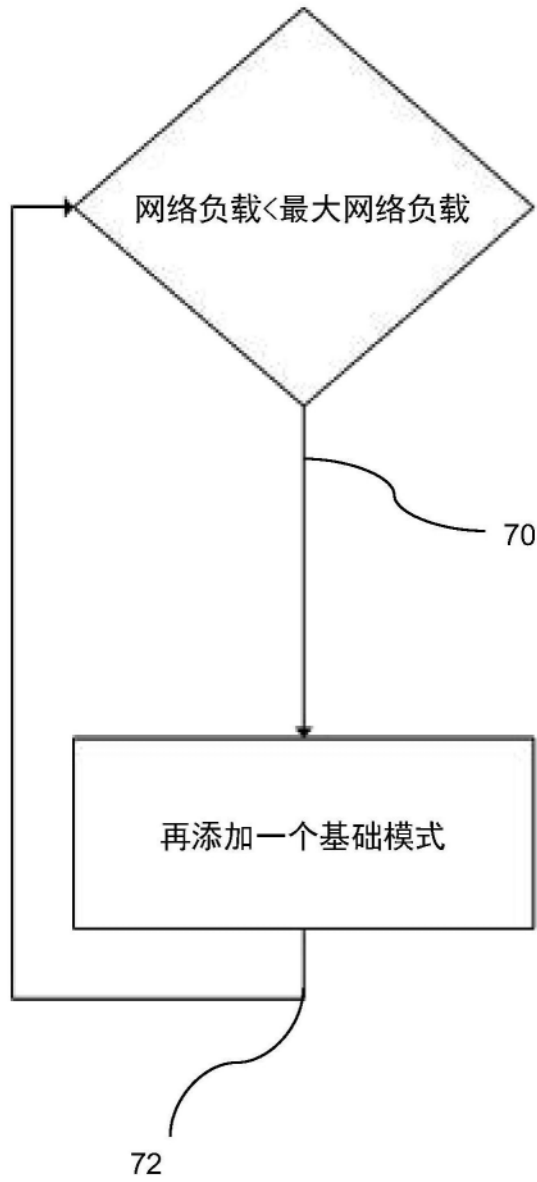


图7a

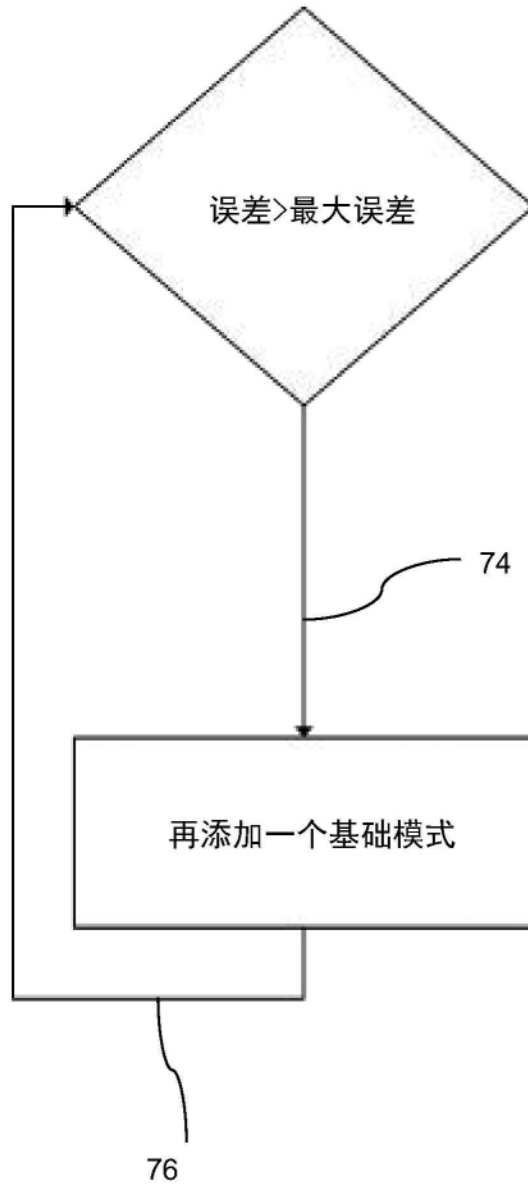


图7b

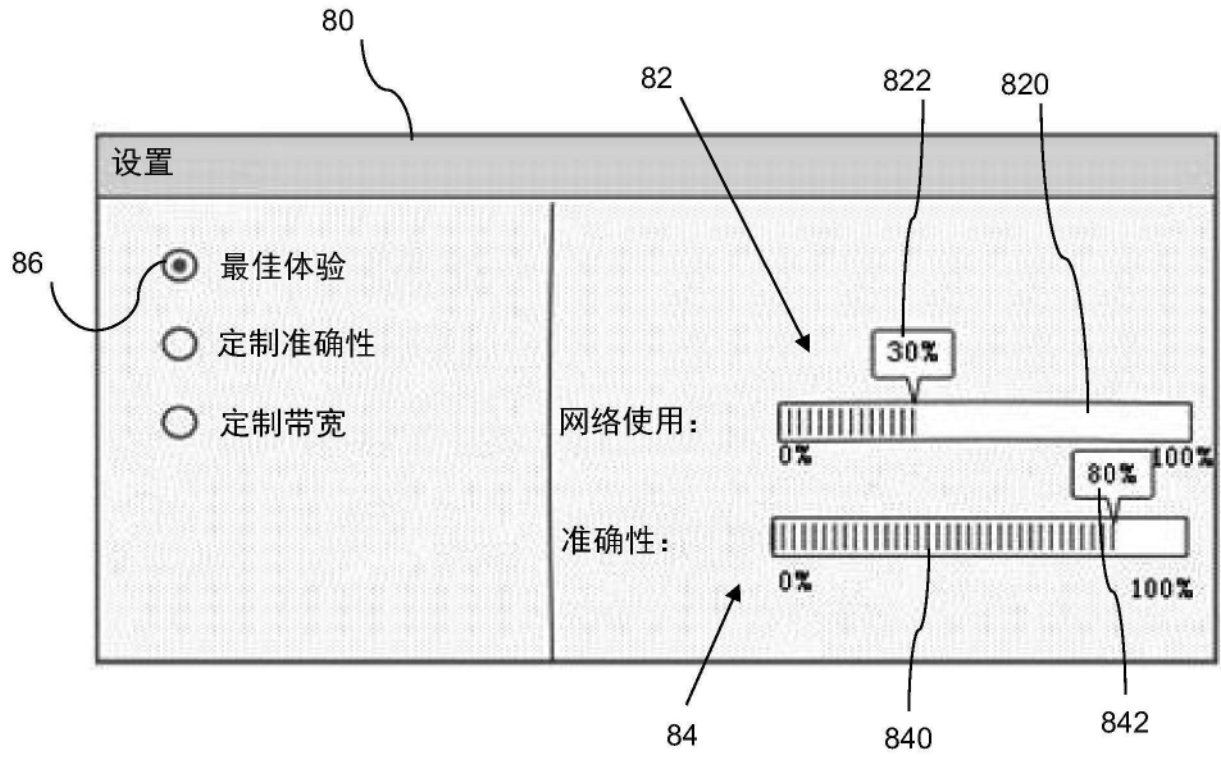


图8

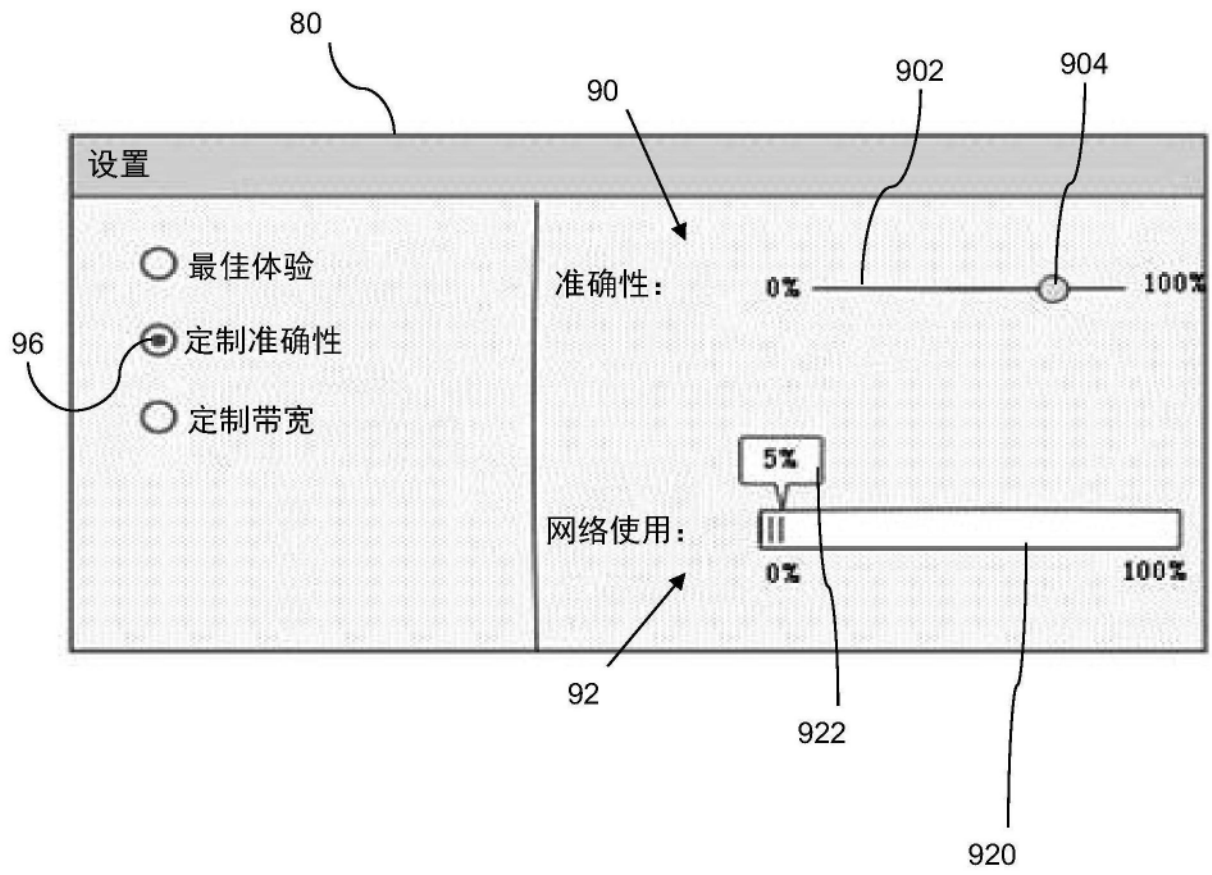


图9

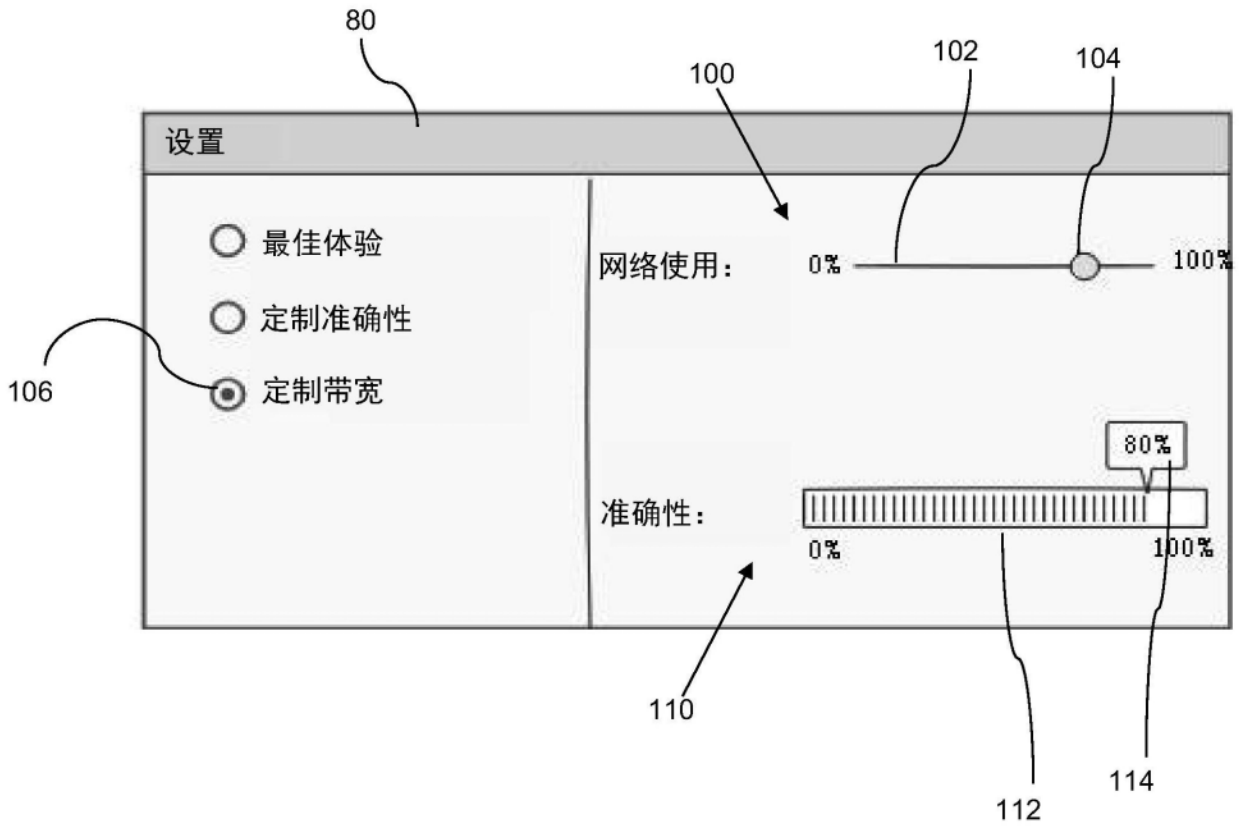


图10

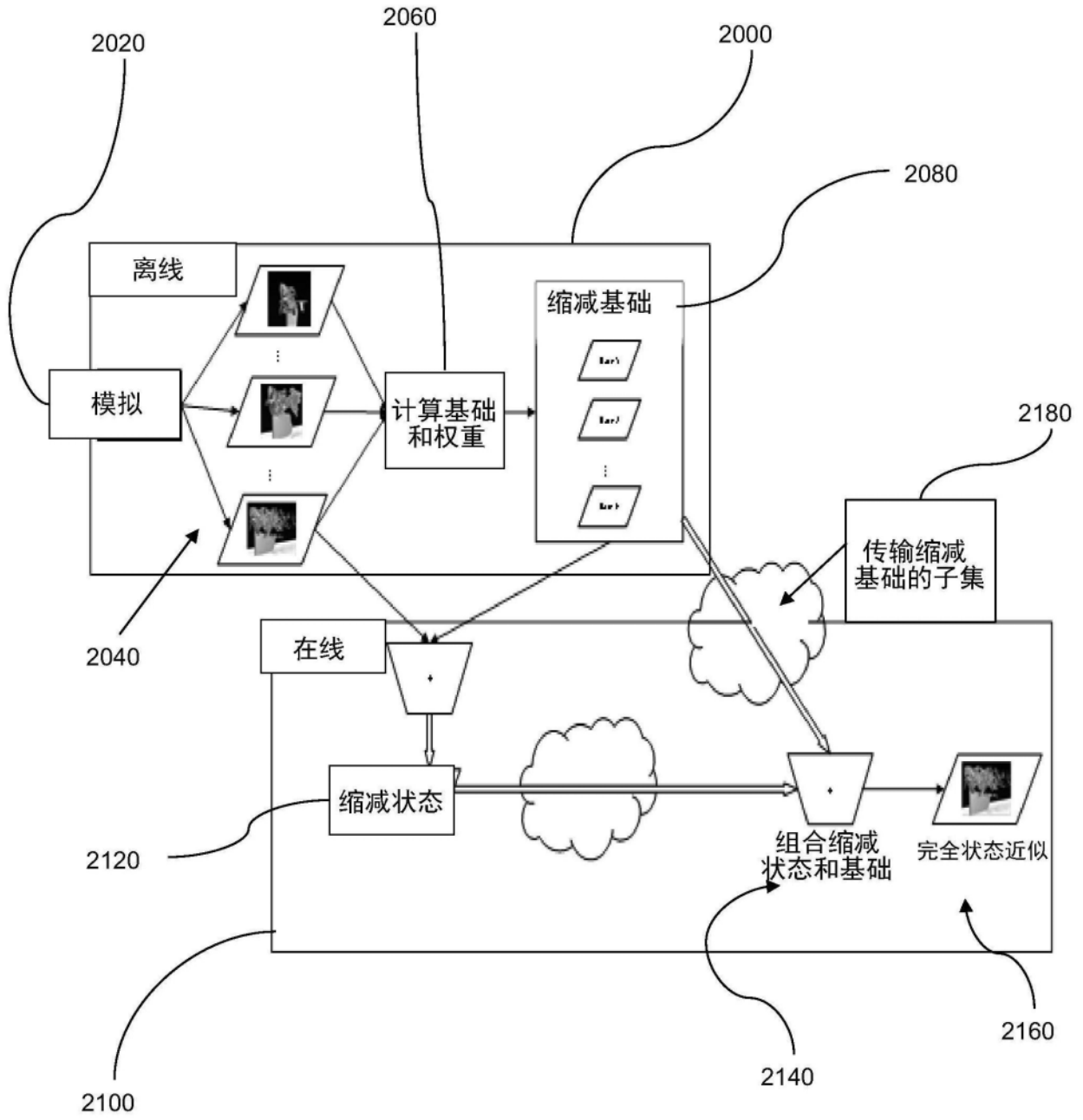


图11