



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113924204 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 15

(21) 申请号 201980097236.2

J · I · 菲格罗亚安古洛

(22) 申请日 2019.06.07

(74) 专利代理机构 北京市汉坤律师事务所

11602

(65) 同一申请的已公布的文献号

专利代理师 初媛媛 吴丽丽

申请公布号 CN 113924204 A

(43) 申请公布日 2022.01.11

(51) Int.Cl.

B29C 64/393 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

B33Y 50/02 (2006.01)

2021.12.06

(86) PCT国际申请的申请数据

(56) 对比文件

PCT/US2019/036152 2019.06.07

CN 107206696 A, 2017.09.26

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 108139734 A, 2018.06.08

W02020/246993 EN 2020.12.10

CN 107209956 A, 2017.09.26

(73) 专利权人 惠普发展公司, 有限责任合伙企业

US 2019012415 A1, 2019.01.10

业

WO 2018055522 A1, 2018.03.29

地址 美国德克萨斯州

US 2018079138 A1, 2018.03.22

(72) 发明人 曾军

WO 2016085965 A1, 2016.06.02

C · A · 洛佩斯科利埃德拉马利埃

CN 109501271 A, 2019.03.22

M · F · 莱瓦门迪维尔

审查员 吕若云

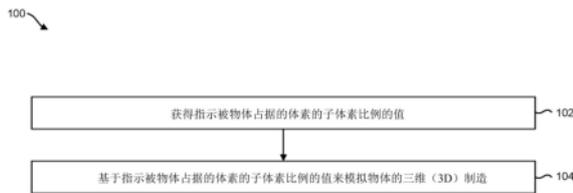
权利要求书1页 说明书11页 附图6页

(54) 发明名称

用于模拟3D制造的方法和设备以及计算机可读介质

(57) 摘要

本文描述了用于模拟物体的三维(3D)制造的方法的示例。在一些示例中,方法包括基于值来模拟物体的3D制造。在一些示例中,所述值指示被物体占据的体素的子体素比例。方法的一些示例包括针对体素确定所述值。



1. 一种用于模拟三维3D制造的方法,包括:
通过以下操作来模拟物体的3D制造:
确定指示体素的被所述物体占据的子体素比例的值;
确定指示所述体素的边界区域的被所述物体占据的部分的面积比例;以及
基于所述值和所述面积比例来模拟构建体积的温度分布。
2. 如权利要求1所述的方法,进一步包括确定所述体素的值。
3. 如权利要求1所述的方法,其中,所述值表示所述体素的被所述物体占据的体积百分比。
4. 如权利要求1所述的方法,其中,所述面积比例是面积百分比。
5. 如权利要求1所述的方法,其中,所述体素由三个坐标、三个尺寸、所述值和六个面积比例表示。
6. 如权利要求1所述的方法,进一步包括响应于确定物体表面截取所述体素而计算所述值。
7. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:
以大于所述体素的第二分辨率的第一分辨率离散化构建体积的一部分以产生多个构成体素;
对所述物体和所述体素的相交部内的构成体素的第一数量进行计数以确定所述值;以及
对在所述体素的边界处截取所述物体的构成体素的第二数量进行计数以确定面积比例。
8. 如权利要求1所述的方法,其中,模拟所述3D制造包括基于所述值来修改所述体素的热容量。
9. 如权利要求1所述的方法,其中,模拟所述3D制造包括基于所述值来修改所述体素的密度。
10. 如权利要求1所述的方法,其中,模拟所述3D制造包括基于面积比例来修改所述体素的热导率。
11. 如权利要求1所述的方法,其中,模拟所述3D制造包括基于面积比例来修改所述体素的热生成。
12. 一种用于模拟三维3D制造的设备,包括:
存储器;
处理器,所述处理器与所述存储器电子通信,其中,所述处理器用于:
确定指示体素的被物体占据的部分的体积百分比;
确定所述体素的边界的被所述物体占据的面积百分比;以及
基于所述体积百分比和所述面积百分比来模拟构建体积的温度分布。
13. 一种存储有可执行代码的非暂态有形计算机可读介质,所述可执行代码在被执行时使得执行如权利要求1-11中任一项所述的方法。

用于模拟3D制造的方法和设备以及计算机可读介质

技术领域

[0001] 本公开涉及三维打印。

背景技术

[0002] 三维(3D)实体零件可以通过增材制造根据数字模型进行生产。增材制造可以用于快速原型设计、模具生成、模具母版生成和短期制造。增材制造涉及连续施加构建材料层。这与通常通过移除材料来创建最终零件的传统加工工艺不同。在一些增材制造技术中,可以固化或熔融构建材料。

发明内容

[0003] 根据本公开的一方面,提供了一种用于模拟三维3D制造的方法,包括:通过以下操作来模拟物体的3D制造:确定指示体素的被所述物体占据的子体素比例的值;确定指示所述体素的边界区域的被所述物体占据的部分的面积比例;以及基于所述值和所述面积比例来模拟构建体积的温度分布。

[0004] 根据本公开的另一方面,提供了一种用于模拟三维3D制造的设备,包括:存储器;处理器,所述处理器与所述存储器电子通信,其中,所述处理器用于:确定指示体素的被物体占据的部分的体积百分比;确定所述体素的边界的被所述物体占据的面积百分比;以及基于所述体积百分比和所述面积百分比来模拟构建体积的温度分布。

[0005] 根据本公开的又一方面,提供了一种存储有可执行代码的非暂态有形计算机可读介质,所述可执行代码在被执行时使得执行上述模拟三维3D制造的方法。

附图说明

[0006] 图1是图示了用于物体制造模拟的方法的示例的流程图;

[0007] 图2是图示了用于物体制造模拟的方法的另一个示例的流程图;

[0008] 图3是可以用于物体制造模拟中的设备的示例的框图;

[0009] 图4是图示了用于物体制造模拟的计算机可读介质的示例的框图;

[0010] 图5是图示了部分被物体占据的体素的示例的图;以及

[0011] 图6是根据本文描述的技术的一些示例的模拟结果可视化的示例的简化立体图。

具体实施方式

[0012] 增材制造可以用于制造3D物体。三维(3D)打印是增材制造的示例。例如,可以将热能投射到构建区域中的材料上,在该构建区域中,在某些体素处材料中可能发生材料的相变和固化。体素是3D空间中位置的表示。例如,体素可以表示3D空间的组成部分。例如,体素可以表示作为3D空间的子集的体积。在一些示例中,体素可以布置在3D网格上。例如,体素的形状可以是长方体或矩形棱柱。在一些示例中,3D空间中体素的尺寸可以是统一的或不统一的。体素尺寸大小的示例可以包括25.4毫米(mm)/150 \approx 170微米(对于150点每英寸)、

490微米(对于50dpi)、2mm、4mm等。术语“体素级”及其变型可以指与体素尺寸相对应的分辨率、尺度或密度。在一些示例中,术语“体素”及其变型可以指“热体素”。在一些示例中,热体素的尺寸可以被定义为有热意义的最小值(例如,大于或等于42微米或600点每英寸(dpi))。可以用一组体素来表示构建体积。构建体积是可以在其中制造一个或多个物体的体积。在一些示例中与模拟分辨率相对应的体素尺寸可以由用户来设置和/或可以与在3D制造过程中或通过打印机可实现的分辨率不同。

[0013] 在一些示例(例如,多射流熔融(MJF))中,构建体积中的每个体素都可能经历热过程。例如,热过程可以包括构建时间和/或冷却时间。构建时间可以是逐层打印的时间量。热过程的示例可以包括15小时的构建时间和35小时的附加冷却。在一些示例中,构建时间可以基于作业高度和/或冷却时间量而变化,这可以由用户指定。对于包括物体的体素的热过程可能影响物体的制造品质(例如,功能品质)。在一些示例中,体素可以随着在模拟中添加对应层而被激活。在一些示例中,3D空间底部的体素可能比靠近顶部的体素经历的热过程更长。在一些示例中,可以利用整个3D空间来进行制造。在其他示例中,可以利用3D空间的一部分来进行制造(例如,进行短时构建),在这种情况下,热过程可以比对于完整3D空间的热过程花费的时间更少。

[0014] 热感测可以提供少量的热信息(例如,构建体积的少量空间信息和/或在大约50小时的构建和冷却期间的少量时间信息)。例如,热像仪(例如,相机、传感器等)可以在热体素作为熔融层的一部分暴露时捕获该体素的50小时过程中的约10秒(或例如小于10秒),这导致时间覆盖范围不足。构建体积的壁和底部处的热传感器可以报告几个选定点的瞬态温度,这导致空间覆盖范围不足。

[0015] 一些基于理论的模拟方法(例如,基于热力学定律的模拟)可以提供热过程(例如,制造)的附加的(例如,完整的)空间信息和时间信息。然而,某些类型的模拟(例如,有限元分析(FEA))可能是为受过训练的专家预留的,因为这些模拟利用了高品质的网格划分。例如,一些FEA模拟使用网格来明确地描述几何形状。因为每个构建体积可能会不同,因此要利用不同的网格,所以对于3D打印而言,这些类型的模拟可能是非常计算密集的。例如,一些FEA模拟已被用于注塑成型制造。3D打印与注塑成型制造不同,因为附加的几何复杂性可能不会显著增加生产负担。然而,增材制造的一些示例(例如,3D打印)会采用推动几何特征接近于打印分辨率的复杂形状(例如,晶格结构)。因此,将一些FEA模拟方法用于3D打印可能涉及使用非常小的元素来描述具有庞大数量元素的精细几何特征,从而造成显著的计算负担。一些技术可以改变和/或简化构建数据以减少计算负担。构建数据是表示构建体积中的一个或多个物体的数据。构建数据的一些示例可以包括3D制造格式(3MF)文件、物体形状数据、取向数据、尺寸数据、位置数据、几何形状数据等。

[0016] 本文描述的一些示例利用实现自动化的基于体素的模拟方法。一些示例可以在没有专家用户干预的情况下利用构建数据作为输入进行模拟。在一些示例中,模拟分辨率可以由用户控制而与几何特征无关。可以利用子体素分辨率来捕获小于体素尺寸的几何特征。例如,可以捕获小于体素尺寸的几何特征子体素热影响。这些方法的一些示例可以捕获其他类型的物理影响(例如,弹性)。

[0017] 本文描述的方法的某些示例的一些优点可以包括:在不改变物体几何形状的情况下执行模拟、(例如在没有专家干预的情况下)执行自动化模拟和/或提供模拟精度随体素

尺寸变化的灵活性。例如,一些方法可以允许在模拟精度与延迟(例如,用于产生结果的处理时间)之间进行折衷调整。一些方法可以向非专家提供模拟以允许在打印之前对热过程进行分析,从而推断潜在的生产产量和/或帮助确保最终零件品质能满足规范。一些方法可以针对任意构建数据(例如,任何物体尺寸、形状、位置、取向等)提供自动化解决方案。一些方法可以通过子体素分辨率提供模拟。例如,一些方法即使对于具有精细特征(例如,晶格、笼等)的物体也可以以合理的模拟时间提供模拟结果。本文描述的技术的一些示例可以提供自动化的物体制造模拟(例如,MJF模拟),该模拟允许小于体素尺寸的特征的子体素分辨率(例如,体素部分)下的信息,和/或使得能够模拟数字材料(其中例如每个体素可以具有独立的材料性质)。

[0018] 在一些示例中,可以利用物体制造模拟来确定和/或提高所制造(例如,打印)的物体的几何精度。物体制造模拟可以允许在打印之前或打印期间确定物体的几何精度。

[0019] 在一些示例中,热行为可以被绘制为温度图。模拟温度图是指示一定面积或体积内的(多个)温度(或热能)的数据集。

[0020] 虽然塑料(例如,聚合物)可以用作说明本文描述的一些方法的方式,但是本文描述的技术可以用于增材制造的各种示例中。例如,一些示例可以用于塑料、聚合物、半结晶材料、金属等。一些增材制造技术可以是基于粉末的并且通过粉末熔融来驱动。本文描述的方法的一些示例可以应用于基于面积的基于粉末床熔融的增材制造,如立体光固化(SLA)、多射流熔融(MJF)、金属射流熔融、选择性激光熔化(SLM)、选择性激光烧结(SLS)、基于液体树脂的打印等。本文描述的方法的一些示例可以应用于其中液滴携带的试剂被用于体素级热调制的增材制造。虽然本文描述了一些分辨率作为示例,但是本文描述的技术可以应用于不同的分辨率。

[0021] 在一些实例中,“粉末”可以指示或对应于以空气袋隔绝的颗粒。粉末的传热能力是有限的,依赖于颗粒之间有限的接触表面。“物体”可以指示或对应于颗粒被烧结、熔化或固化且主要由本身没有气泡或只有小气泡的材料填充的位置(例如,区域、空间等)。例如,物体可以由烧结或熔化的粉末形成。物体的传热能力可以接近于粒状材料本身的传热能力。

[0022] 在所有附图中,相同或相似的附图标记可以表示相似但不一定相同的元件。附图不一定按比例绘制,并且一些零件的尺寸可以被放大以更清楚地图示所示的示例。此外,附图提供了与描述一致的示例和/或实施方式;然而,描述不限于附图中提供的示例和/或实施方式。

[0023] 图1是图示了用于物体制造模拟的方法100的示例的流程图。方法100和/或方法100的一个或多个元素可以由设备(例如,电子装置)执行。例如,方法100可以由结合图3描述的设备302或3D打印装置来执行。

[0024] 该设备可以获得102指示被物体占据的体素的子体素比例的值。该值是指示数量的数字、代码或表达式。体素的子体素比例是小于体素全部的体素量。例如,子体素比例可以被表示为分数、百分比、比率、小数等。例如,物体(例如,物体的一部分)可以部分地占据体素。在一些示例中,子体素比例可以指示其中被放置物体的体素的量。例如,该值可以表示被物体占据的体素的体积百分比。在一些示例中,物体可以对应于一种类型的材料(例如,熔融材料、烧结材料、固体材料、金属等),而体素的其余部分可以对应于另一种或多种

类型的材料(例如,粉末、木材等)。在一些示例中,该值可以通过表示体素的非物体部分来指示体素的被占据(例如,被物体占据)的部分。在一些示例中,该设备可以将该值存储为体素的组分(component)或方面。

[0025] 在一些示例中,获得102该值可以包括确定该值或从另一个装置(例如,与该设备通信的装置)接收该值。例如,该设备可以通过基于构建数据(例如,3MF文件和/或指示物体位置、取向、大小、几何形状等的的数据)计算(calculating)或计算(computing)该值来确定该值。在另一个示例中,该设备可以经由有线通信、无线通信和/或网络通信从另一个装置接收该值。

[0026] 该设备可以基于指示被物体占据的体素的子体素比例的值来模拟104物体的3D制造。模拟104物体的3D制造可以包括确定(例如,计算(calculating)、计算(computing)等)构建体积中的一种或多种材料性质(例如,热行为、温度、弹性等)。例如,设备可以基于该值模拟瞬态热行为(例如,随时间推移的温度)。

[0027] 模拟104 3D制造可以产生模拟结果。模拟结果的示例可以包括构建体积中材料的模拟温度、相、状态、弹性等。例如,模拟结果可以包括在一个或多个时间构建体积(例如,网格)中的一组或多组温度。在一些示例中,该设备可以将模拟结果存储在存储器中。在一些示例中,该设备可以将模拟结果呈现在显示器上。例如,该设备可以呈现指示模拟结果的构建体积的图像。例如,可以对构建体积的图像进行颜色编码以指示构建体积中各位置处的温度或温度范围。在一些示例中,图像可以是3D图像,在3D图像中可以呈现一个或多个部分(例如,剖面图)以指示构建体积的内部中的模拟结果。在一些示例中,可以针对多个体素执行方法100。例如,可以针对构建体积中的被一个或多个物体部分占据的每个体素重复执行方法100。在一些示例中,设备可以迭代遍历构建体积中的所有体素,并且可以在体素被物体部分占据的情况下针对该体素执行方法100。

[0028] 图2是图示了用于物体制造模拟的方法200的另一个示例的流程图。方法200和/或方法200的一个或多个元素可以由设备(例如,电子装置)执行。例如,方法200可以由结合图3描述的设备302或3D打印装置来执行。

[0029] 该设备可以针对体素确定202指示被物体占据的子体素比例的值。例如,该设备可以如结合图1描述地通过基于构建数据计算(calculating)或计算(computing)该值来确定该值。在一些示例中,针对体素确定202该值可以包括以大于体素的第二分辨率的第一分辨率离散化构建体积的一部分以产生多个构成体素。构成体素是小于体素的一定体积。例如,体素可以被离散化(例如,被用于生成离散的部分)以产生分辨率高于体素分辨率的许多构成体素。因此,构成体素小于体素。在一些示例中,确定202该值可以包括对物体与体素的相交部内的构成体素的数量进行计数以确定该值。例如,体素与物体之间的公共区域内的构成体素的数量可以指示该值。例如,可以将该值计算为相交部内的构成体素的数量除以体素中构成体素的总数。

[0030] 在一些示例中,该设备可以使用比体素分辨率更高的分辨率(例如,打印分辨率,如在x维度和y维度上42微米(μm)和在z维度上80 μm)来离散化构建体积。以较高分辨率来离散化构建体积可以产生一组构成体素。针对每个体素,该设备可以对存在于该体素中的物体的构成体素的数量进行计数以产生该值(例如,体积分数、体积百分比等)。

[0031] 该设备可以针对该体素确定204指示体素的边界区域的被物体占据的部分的面积

比例。体素的面积比例是体素的面积的量。体素的区域是体素的二维(2D)部分。例如,体素的面或侧面可以是体素的区域。体素的边界区域是体素的最外区域或边沿区域。在具有矩形棱柱形状的体素的示例中,体素可以具有与矩形棱柱的面相对应的六个边界区域(例如,上边界区域、下边界区域、左边界区域、右边界区域、前边界区域和后边界区域)。在其他示例中,体素可以具有带有不同数量的边界区域的其他形状(例如,多面体形状)。在一些示例中,面积比例可以表示为分数、百分比、比率、小数等。例如,面积比例可以是面积百分比。

[0032] 在一些示例中,确定204面积比例可以包括对在体素的边界处截取物体的构成体素的数量进行计数。例如,该设备可以对截取体素的边界区域的、物体的构成体素的数量进行计数。截取物体的构成体素的数量除以边界区域的构成体素的总数就可以是面积比例。

[0033] 在一些示例中,体素由三个坐标、三个尺寸、该值和六个面积比例表示。例如,三个坐标(例如,x、y和z)可以表示体素的位置(例如,中心)。三个尺寸(例如,dx、dy和dz)可以表示在平行于轴线的方向上的体素尺寸。该值可以是被物体占据的体素的体积百分比(其中,体素的其余部分可以是另一种材料类型,如粉末)。六个面积比例可以表示对于体素的每个边界区域,被物体占据(例如,在物体中)的边界区域的面积百分比(其中,如果有的话,其余部分可以是另一种材料类型,如粉末)。例如,第一面积比例可以对应于体素的左侧,第二面积比例可以对应于体素的右侧,第三面积比例可以对应于体素的前侧,第四面积比例可以对应于体素的后侧,第五面积比例可以对应于体素的上侧,并且第六面积比例可以对应于体素的下侧。该设备可以将体素作为一组组分(例如,前述的十三个组分)存储在存储器中。在一些示例中,构建体积可以被离散化以产生构建体积的一组体素。构建体积中的一个、一些或全部体素可以存储为一组组分(例如,前述一组组分)。在一些示例中,一个或多个体素可以由前述组分的任意子集表示。在一些示例中,可以省略(多个)尺寸(例如,由于其是固定值)。在一些示例中,可以包括体积百分比或六个面积比例但同时包括这两者。

[0034] 在一些示例中,设备可以响应于确定物体表面截取体素而计算该值。例如,该设备可以迭代遍历构建体积中的所有体素。当物体的表面三角形截取体素时,该设备可以针对该体素计算该值(例如,体积百分比)和/或一个或多个面积比例(例如,面积百分比)。在一些示例中,具有截取物体表面的体素可以或可以不被标记为表面体素。在一些示例中,可以将其他体素(例如,内部或外部体素)也作为该组组分存储。在其他示例中,可以利用更多或更少和/或不同的组分来存储其他体素(例如,内部或外部体素)。例如,可以将内部或外部体素作为三个坐标(例如,x、y和z)、三个尺寸(例如,dx、dy和dz)、以及指示体素是内部体素还是外部体素的标记来存储。因此,可以离散化构建体积,在一些示例中所有体素具有相同组分,或者在一些示例中一些体素具有不同组分。

[0035] 在一些示例中,可以用冗余面积比例(例如,边界区域)数据来表示和/或存储体素。例如,沿轴线的两个相邻体素共享公共边界。左体素的右面积比例可以与右体素的左面积比例相同。虽然这种格式使用更多(例如,比最小数量更多)的数据进行表示,但是这种格式可以实现更简单的数据处理和/或调试。在一些示例中,可以在没有冗余数据的情况下表示体素(例如,相邻体素可以在相邻边界区域处共享相同的面积比例)。

[0036] 在一些示例中,为了模拟3D制造,该设备可以对热方程进行求解。例如,热方程可以表示为方程(1)。

$$[0037] \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + \dot{q} \quad (1)$$

[0038] 在方程(1)中,T表示温度,t表示时间, $\frac{\partial T}{\partial t}$ 是温度对时间的偏导数, ρ 表示体素材料的密度,c表示体素材料的热容量, $\rho c \frac{\partial T}{\partial t}$ 表示体素的存储热的能力,k表示热导率, ∇^2 表示拉普拉斯算子, $k \nabla^2 T$ 表示传入和传出体素的热传导,并且 \dot{q} 表示热生成(例如,由于体素通过其上表面暴露于光能源而引起的热生成)。

[0039] 在一些示例中,该设备可以考虑子体素分辨率下的材料变化。例如,该设备可以执行一个或多个操作以修改一个或多个体素的材料性质。例如,体素可以包括多种材料(或多种相的材料)。可以修改体素的一个或多个材料性质以考虑多种材料。在一些示例中,模拟3D制造可以包括基于对应的(多个)因子(例如,(多个)密度因子、(多个)热容量因子、(多个)热传导因子和/或(多个)热生成因子)来修改密度 ρ 、热容量c、热导率k和/或热生成 \dot{q} 。

[0040] 该设备可以基于该值来修改206热容量。如上所述,该值可以指示被物体占据的子体素比例(例如,可以表示被物体占据的体素的体积百分比)。热容量表示体素的储存热能的能力。在一些示例中,该设备可以基于该值使用一个或多个热容量因子来修改206热容量。例如,由于体素的材料混合,因此体素的热容量可以在体积上成比例。在一些示例中,模拟3D制造可以包括基于该值来修改体素的热容量。例如,该设备可以使用该值,利用非物体部分和物体部分的加权平均值。一个或多个热容量因子可以是加权平均值的一个或多个权重。该(多个)热容量因子可以基于该值。在一些示例中,热容量因子的总和可以为1或100%(例如,第一热容量因子或权重可以是该值,并且第二热容量因子或权重可以是该值的补集(如1-该值或100%-该值))。例如,结合方程(1),体素的修改热容量c可以计算为物体的热容量与粉末的热容量的加权平均值,其中,热容量因子是权重。

[0041] 该设备可以基于该值来修改208体素的密度。密度表示体素中材料的密度。在一些示例中,该设备可以基于该值使用一个或多个密度因子来修改208密度。在一些示例中,模拟3D制造可以包括基于该值来修改体素的密度。例如,该设备可以使用该值,利用非物体部分和物体部分的加权平均值。一个或多个密度因子可以是加权平均值的一个或多个权重。该(多个)密度因子可以基于该值。在一些示例中,密度因子的总和可以为1或100%(例如,第一密度因子或权重可以是该值,并且第二密度因子或权重可以是该值的补集(如1-该值或100%-该值))。例如,结合方程(1),体素的修改密度 ρ 可以计算为物体的密度与粉末的密度的加权平均值,其中,密度因子是权重。

[0042] 该设备可以基于一个或多个面积比例来修改210体素的热导率。热导率表示材料的传入和传出体素的热导率。在一些示例中,该设备可以基于该(多个)面积比例使用一个或多个热导率因子来修改210热导率。在一些示例中,模拟3D制造可以包括基于面积比例来修改体素的热导率。每个边界可以具有不同的热导率。例如,该设备可以使用面积比例,利用边界区域的非物体部分和物体部分的加权平均值。一个或多个热导率因子可以是加权平均值的一个或多个权重。该(多个)热导率因子可以基于面积比例。在一些示例中,边界的热导率因子的总和可以为1或100%(例如,第一热导率因子或权重可以是面积比例,并且第二

热导率因子或权重可以是面积比例的补集(如 $1 - \text{该面积比例}$ 或 $100\% - \text{该面积比例}$)。例如,结合方程(1),体素的修改热导率 k 可以计算为物体的热导率与粉末的热导率的加权平均值,其中,热导率因子是权重。

[0043] 该设备可以基于面积比例来修改212体素的热生成。热生成表示体素的热生成量。在一些示例中,可以修改一个或多个体素的上表面上的热生成。在一些示例中,该设备可以基于面积比例使用一个或多个热生成因子来修改212热生成。在一些示例中,模拟3D制造可以包括基于面积比例来修改体素的热生成。例如,该设备使用热生成来模拟灯发热效果。例如,可以基于(例如,上边界区域的)面积比例成比例地修改边界区域(上边界区域)在暴露为熔融层时所生成的热。例如,该设备可以使用面积比例,利用边界区域的非物体部分和物体部分的加权平均值。一个或多个热生成因子可以是加权平均值的一个或多个权重。该(多个)热生成因子可以基于面积比例。在一些示例中,边界的热生成因子的总和可以为1或100%(例如,第一热生成因子或权重可以是面积比例,并且第二热生成因子或权重可以是面积比例的补集(如 $1 - \text{该面积比例}$ 或 $100\% - \text{该面积比例}$)。例如,结合方程(1),体素的修改热生成 \dot{q} 可以计算为物体的热生成与粉末的热生成的加权平均值,其中,热生成因子是权重。

[0044] 因此,在一些示例中,方法200可以使用体素的子体素信息(例如,值、(多个)面积比例)来考虑子体素分辨率下的热行为。该设备可以在模拟3D制造时利用修改密度、修改热容量、修改热导率和/或修改热生成来产生模拟结果。在一些示例中,该设备可以将模拟结果存储在存储器中,将模拟结果呈现在显示器上,和/或将模拟结果传送到另一个装置。

[0045] 本文描述的技术的一些示例是就两种材料(例如,物体和粉末)来描述。在一些示例中,可以利用标量值和/或面积比例。本文描述的技术还可以与更多种材料(例如,N种材料)一起使用。例如,代替使用标量值和面积比例,可以利用向量(例如,N-1个向量),其中向量的每个组分对应于一种材料。在一些示例中,可以针对更多种材料利用附加的因子(例如,权重)。

[0046] 虽然本文描述的技术的一些示例是就(例如,经由对方程(1)进行求解)模拟热行为而描述的,但是本文描述的技术的一些示例可以用来模拟其他现象。例如,可以利用这些技术的一些示例来模拟具有复杂几何形状的物体的变形。例如,可替代地,可以将生成热容量因子和热导率因子的技术应用于生成杨氏模量因子和泊松比因子。通过使用构成体素的材料的杨氏模量的加权平均值并通过使用杨氏模量因子来构造加权平均值公式,可以利用杨氏模量因子和泊松比因子来计算体素的性质(例如,体素的杨氏模量)。

[0047] 图3是可以用于物体制造模拟中的设备302的示例的框图。设备302可以是计算装置,如个人计算机、服务器计算机、打印机、3D打印机、智能手机、平板计算机等。设备302可以包括和/或可以耦接到处理器304和/或存储器306。在一些示例中,设备302可以与增材制造装置(例如,3D打印装置)通信(例如,耦接到增材制造装置,具有与增材制造装置的通信链路)。在一些示例中,设备302可以是3D打印装置的示例。在不脱离本公开的范围的情况下,设备302可以包括附加部件(未示出),并且/或者本文描述的部件中的一些部件可以被去除和/或修改。

[0048] 处理器304可以是以下各项中的任一项:中央处理单元(CPU)、基于半导体的微处理器、图形处理单元(GPU)、现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)和/或适合于取

得并执行存储在存储器306中的指令的其他硬件设备。处理器304可以获取、解码和/或执行存储在存储器306中的指令(例如,模拟指令314)。另外或可替代地,处理器304可以包括一个或多个电子电路,该一个或多个电子电路包括用于执行指令(例如,模拟指令314)的一个或多个功能的电子部件。在一些示例中,处理器304可以被配置为执行结合图1至图6中的一个、一些或全部图所描述的功能、操作、元件、方法等中的一个、一些或全部。

[0049] 存储器306可以是包含或存储电子信息(例如,指令和/或数据)的任何电子、磁性、光学或其他物理存储装置。因此,存储器306可以是例如随机存取存储器(RAM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、存储装置、光盘等。在一些实施方式中,存储器306可以是非暂态有形机器可读存储介质,其中,术语“非暂态”并不涵盖暂态传播信号。

[0050] 在一些示例中,设备302还可以包括处理器304可以在其上存储信息的数据存储(未示出)。数据存储可以是易失性和/或非易失性存储器,如动态随机存取存储器(DRAM)、EEPROM、磁阻式随机存取存储器(MRAM)、相变RAM(PCRAM)、忆阻器、闪速存储器等。在一些示例中,存储器306可以包括在数据存储中。可替代地,存储器306可以与数据存储分开。在一些方法中,数据存储可以存储与存储器306所存储的指令和/或数据类似的指令和/或数据。例如,数据存储可以是非易失性存储器,并且存储器306可以是易失性存储器。

[0051] 在一些示例中,设备302可以包括输入/输出接口(未示出),处理器304可以通过输入/输出接口与一个或多个外部装置(未示出)通信,例如以接收和存储与要制造(例如,打印)的一个或多个物体有关的信息。输入/输出接口可以包括使得处理器304能够与一个或多个外部装置通信的硬件和/或机器可读指令。输入/输出接口可以实现与一个或多个外部装置的有线或无线连接。输入/输出接口可以进一步包括网络接口卡和/或还可以包括使得处理器304能够与各种输入和/或输出装置(如键盘、鼠标、显示器、另一个设备、电子装置、计算装置等)通信的硬件和/或机器可读指令,用户可以通过这些输入和/或输出装置向设备302输入指令。在一些示例中,模拟分辨率可以(例如,基于来自用户的输入)与几何特征无关地进行控制。例如,可以利用子体素分辨率来捕获小于体素尺寸的几何特征。在一些示例中,可以捕获小于体素尺寸的几何特征子体素热影响。在其他示例中,可以利用本文描述的技术来捕获其他物理影响。

[0052] 在一些示例中,存储器306可以存储构建数据308。构建数据308可以由设备302生成和/或从另一个装置接收。构建数据308的一些示例包括一个或多个3MF文件、3D计算机辅助绘图(CAD)图像、物体形状数据、取向数据、尺寸数据、位置数据、几何形状数据等。构建数据308可以指示构建体积中的一个或多个物体的形状和/或位置。

[0053] 存储器306可以存储体积百分比计算指令310。处理器304可以执行体积百分比计算指令310以确定指示体素的被物体占据的部分的体积百分比。例如,处理器304可以计算物体与体素之间的相交体积。在一些示例中,通过确定相交体积中的构成体素的数量并除以体素中的构成体素的总数来产生可以被转换为体积百分比的分数,处理器304可以计算体积百分比。在一些方法中,处理器304可以针对构建体积中每个体素,或者针对沿着构建体积中的一个或多个物体表面的一组体素来计算体积百分比。

[0054] 存储器306可以存储面积百分比计算指令312。处理器304可以执行面积百分比计算指令312以确定指示体素的被物体占据的边界的面积百分比。例如,处理器304可以计算物体和体素的区域(例如,边界区域、面、侧面、平面等)之间的相交面积。在一些示例中,通

过确定相交体积中的构成体素的数量并除以体素中的区域(例如,边界区域)的构成体素的总数来产生可以被转换为面积百分比的分数,处理器304可以计算面积百分比。在一些方法中,处理器304可以针对构建体积中每个体素的每个侧面(例如,边界、面等),或者针对沿着构建体积中的一个或多个物体表面的一组体素的每个侧面来计算面积百分比。

[0055] 在一些示例中,存储器306可以存储体素数据316。例如,体素数据316可以包括一个或多个体素的体积百分比和/或可以包括一个或多个体素的一个或多个面积百分比。例如,体积百分比可以作为体素的组分存储在存储器306中。一个或多个面积百分比可以作为体素的一个或多个组分存储在存储器306中。在一个示例中,存储在存储器306中的体素(或多个体素)可以包括指示体素的位置的一个或多个坐标、指示体素的一个或多个大小的体素的一个或多个尺寸、一个体积百分比和/或一个或多个面积百分比(例如,与体素的六个侧面中的每一个相对应的面积百分比)。

[0056] 存储器306可以存储模拟指令314。处理器304可以执行模拟指令314以基于体积百分比来模拟构建体积的温度分布。例如,处理器304可以基于体积百分比来修改体素的热容量和/或密度。处理器304可以基于修改热容量和/或修改密度来计算温度分布。例如,处理器304可以使用修改热容量和/或修改密度来对方程(1)进行求解,以产生温度分布。

[0057] 在一些示例中,处理器304可以执行模拟指令314以基于(多个)面积百分比来模拟构建体积的温度分布。例如,处理器304可以基于(多个)面积百分比来修改体素的热导率和/或热生成。处理器304可以基于修改热导率和/或修改热生成来计算温度分布。例如,处理器304可以使用修改热导率和/或修改热生成来对方程(1)进行求解,以产生温度分布。在一些示例中,处理器304可以修改一个或多个体素的热容量、密度、热导率和/或热生成中的全部或子集,以模拟温度分布。

[0058] 在一些示例中,处理器304可以执行操作指令318以基于模拟的温度分布来执行操作。例如,处理器304可以将温度分布呈现在显示器上,将温度分布存储在存储器306中,和/或可以将温度分布发送到另一个或多个装置。在一些示例中,处理器304可以基于模拟的温度分布来制造(例如,打印)一个或多个物体。例如,处理器304可以基于模拟的温度分布来驱动模型设置(例如,步幅的尺寸)。另外或可替代地,处理器304可以基于模拟的温度分布来执行离线打印模式调整。另外或可替代地,处理器304可以基于温度分布来发送消息(例如,警告、警报、进度报告、品质评级等)。例如,处理器304可以在模拟的温度分布指示潜在的制造问题(例如,熔融或烧结多于或少于熔融或烧结的目标量)的情况下发送警告。

[0059] 在一些示例中,操作指令318可以包括3D打印指令。例如,处理器304可以执行3D打印指令以打印一个或多个3D物体。在一些实施方式中,3D打印指令可以包括用于控制一个或多个装置(例如,辊、打印头和/或热投影仪等)的指令。例如,3D打印指令可以使用模拟的温度分布来控制一个或多个打印头进行打印,从而调节构建体积温度。因此,打印可以基于模拟的温度分布来进行。

[0060] 图4是图示了用于物体制造模拟的计算机可读介质420的示例的框图。计算机可读介质420可以是非暂态有形计算机可读介质420。计算机可读介质420可以是例如RAM、EEPROM、存储装置、光盘等。在一些示例中,计算机可读介质420可以是易失性和/或非易失性存储器,如DRAM、EEPROM、MRAM、PCRAM、忆阻器、闪存存储器等。在一些实施方式中,结合图3描述的存储器306可以是结合图4描述的计算机可读介质420的示例。

[0061] 计算机可读介质420可以包括代码(例如,数据和/或指令)。例如,计算机可读介质420可以包括构建数据421、体素化指令422、模拟指令424和/或体素数据426。

[0062] 在一些示例中,计算机可读介质420可以存储构建数据421。构建数据421的一些示例包括一个或多个3MF文件、3D CAD图像、物体形状数据、取向数据、尺寸数据、位置数据、几何形状数据等。构建数据421可以指示构建体积中的一个或多个物体的形状和/或位置。

[0063] 在一些示例中,体素化指令422是用于使处理器生成体素数据(例如,将构建数据421转换为体素)的代码。每个体素可以包括子体素几何数据。例如,体素化指令422是使处理器针对构建体积的截取物体表面的每个体素来存储体积分数变量和多个面积分数变量的代码。体积分数变量是表示体素的体积被物体占据的分数的变量。每个面积分数变量是表示体素的区域(例如,侧面、面、平面等被物体占据)的分数的变量。体积分数变量可以是指本文描述的子体素比例的值的示例。面积分数变量可以是本文描述的面积比例的示例。(多个)体积分数变量和/或(多个)面积分数变量可以作为体素数据426存储在计算机可读420中或存储在另一个电子存储器装置中。在一些示例中,可以执行体素化指令422以将构建数据421(例如,一批物体、网格等)转换成构建体积的一组体素,其中,构建体积的一个或多个体素包括体积分数变量和/或(多个)面积分数变量。

[0064] 在一些示例中,模拟指令424是使处理器基于体积分数变量和多个面积分数变量来模拟构建体积的热行为的代码。例如,可以执行模拟指令424以基于体积分数变量和多个面积分数变量来计算物理热模型(例如,方程(1))。例如,可以基于体积分数变量和多个面积分数变量来调整或修改物理热模型或其材料性质。在一些示例中,模拟热行为可以包括基于体素数据结构执行瞬态热模拟(例如,瞬态热模拟包括层构建和冷却)。例如,模拟可以使用子体素几何数据来计算每个体素(例如,热体素)的材料性质。模拟可以指示和/或产生每个体素的瞬态热温度。在本文描述的技术的一些示例中,可以(例如,由图3中描述的设备302)执行后处理。后处理可以利用模拟结果来指示制造和物体功能的各方面。

[0065] 图5是图示了部分被物体530占据的体素528的示例的图。体素528可以是结合图1至图4描述的一个或多个体素的示例。在该示例中,体素528具有矩形棱柱形状,该矩形棱柱形状具有六个边界:上边界532、下边界534、左边界536、右边界538、前边界540和后边界542。物体530可以延伸到体素528之外。体素528的被物体530占据的部分用虚线标记。

[0066] 如本文所述,设备(例如,结合图3描述的设备302)可以确定被物体530占据的体素528的子体素比例。在图5所示的示例中,子体素比例可以是体素的一半,其中,子体素比例可以由值来指示。该值的示例可以包括体积百分比、体积分数、小数、浮点数、比率和/或另一种表达式。例如,对于该示例,该值可以表示为50%、1/2、0.5、1:1或另一种表达式。

[0067] 如本文所述,设备(例如,结合图3描述的设备302)可以确定被物体530占据的体素528的边界区域的面积比例。在图5所示的示例中,上边界532的面积比例为75%,下边界534的面积比例为25%,左边界536的面积比例为100%,右边界538的面积比例为0%,前边界540的面积比例为50%,并且后边界542的面积比例为50%,其中,面积比例表示为面积百分比。面积比例可以表示为面积百分比、分数、小数、浮点数、比率和/或另一种表达式。例如,对于此示例,上边界的面积比例可以表示为75%、3/4、0.75、3:1或另一种表达式。如本文所述,体素可以用该值和面积比例来表示(例如,用该值和面积比例来存储)。

[0068] 图6是根据本文描述的技术的一些示例的模拟结果可视化644、646的示例的简化

立体图。可视化644、646是对应于不同时间的构建体积的简化温度图。例如，第一可视化644图示了3D制造在第一时间的模拟结果，第二可视化646图示了3D制造在第二稍后时间的模拟结果。两个可视化图644、646都包括用于图示内部温度的剖面图。在该示例中，温度以华氏度的简化标度尺648来图示。其他示例可以通过颜色渐变标度尺来图示，以便示出比图6中的示例更精细的温度变化。

[0069] 在一些示例中，可以在显示器上呈现模拟结果的可视化，和/或可以将模拟结果发送到另一个装置（例如，计算装置、监视器等）以呈现模拟结果的可视化。在一些示例中，可以将（例如，来自构建数据的）一个或多个物体的半透明覆盖层可以与可视化一起呈现或呈现在可视化上，以示出被制造的物体与构建体积温度之间的对应关系。在本文描述的技术的一些示例中，利用子体素特征，相对较大的2mm体素尺寸就可以捕捉构建几何形状和精细特征。

[0070] 在图6所示的示例中，模拟反映了如下的制造，其中物体是逐层构建的。在该示例中，（大约50小时制造过程的）模拟在大约一小时内完成。

[0071] 本文描述的技术的一些示例可以实现对作为模拟体素尺寸的函数的模拟精度的柔性降级。例如，类似于图6所示的模拟可以用更大的4mm体素来执行，该模拟在大约15分钟内完成。虽然具有较大体素尺寸的模拟结果的精度较低，但是模拟结果可以以定量的方式传递热力学信息。

[0072] 在本文描述的技术的一些示例中，材料性质可以变成每体素场量，这可以实现其中材料的每个体素都可以不同的离散建模。例如，每个体素可以具有不同的热容量，因为每个体素可以容纳材料的不同部分（例如，物体与粉末）。因为每个体素可以具有不同的热容量，所以每个体素的存热能力可以不同。

[0073] 虽然本文描述了系统和方法的各种示例，但是系统和方法不限于这些示例。本文描述的示例的变型可以在本公开的范围实施。例如，可以省略或组合本文描述的示例的操作、功能、方面或要素。

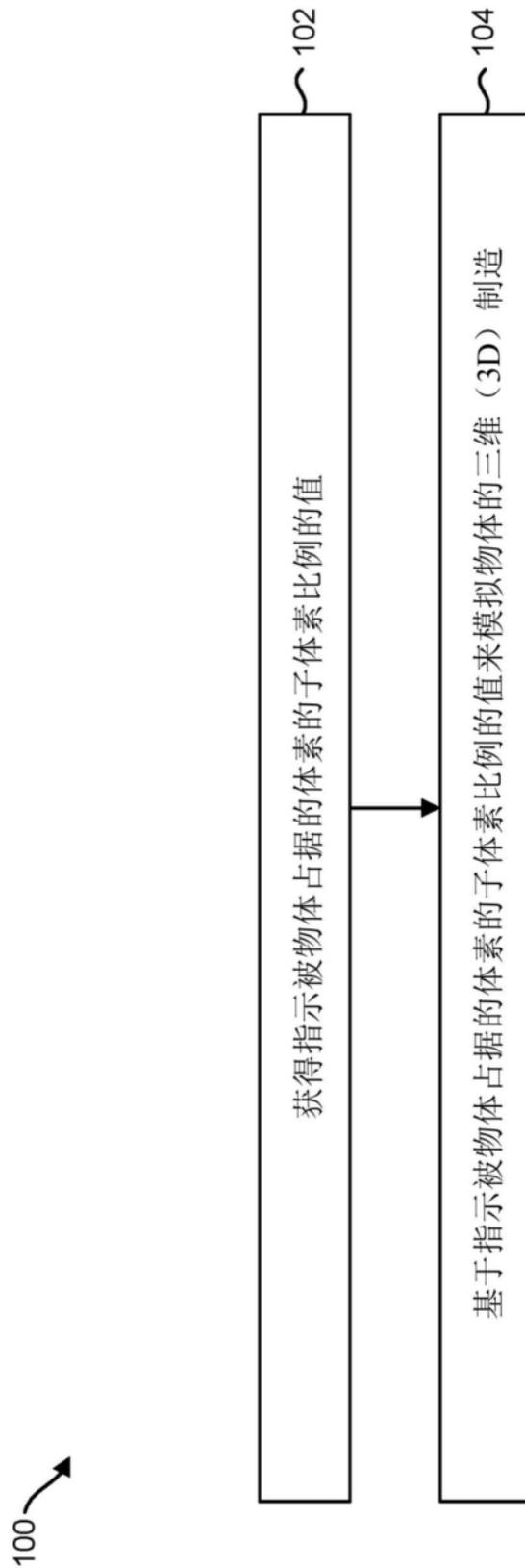


图1

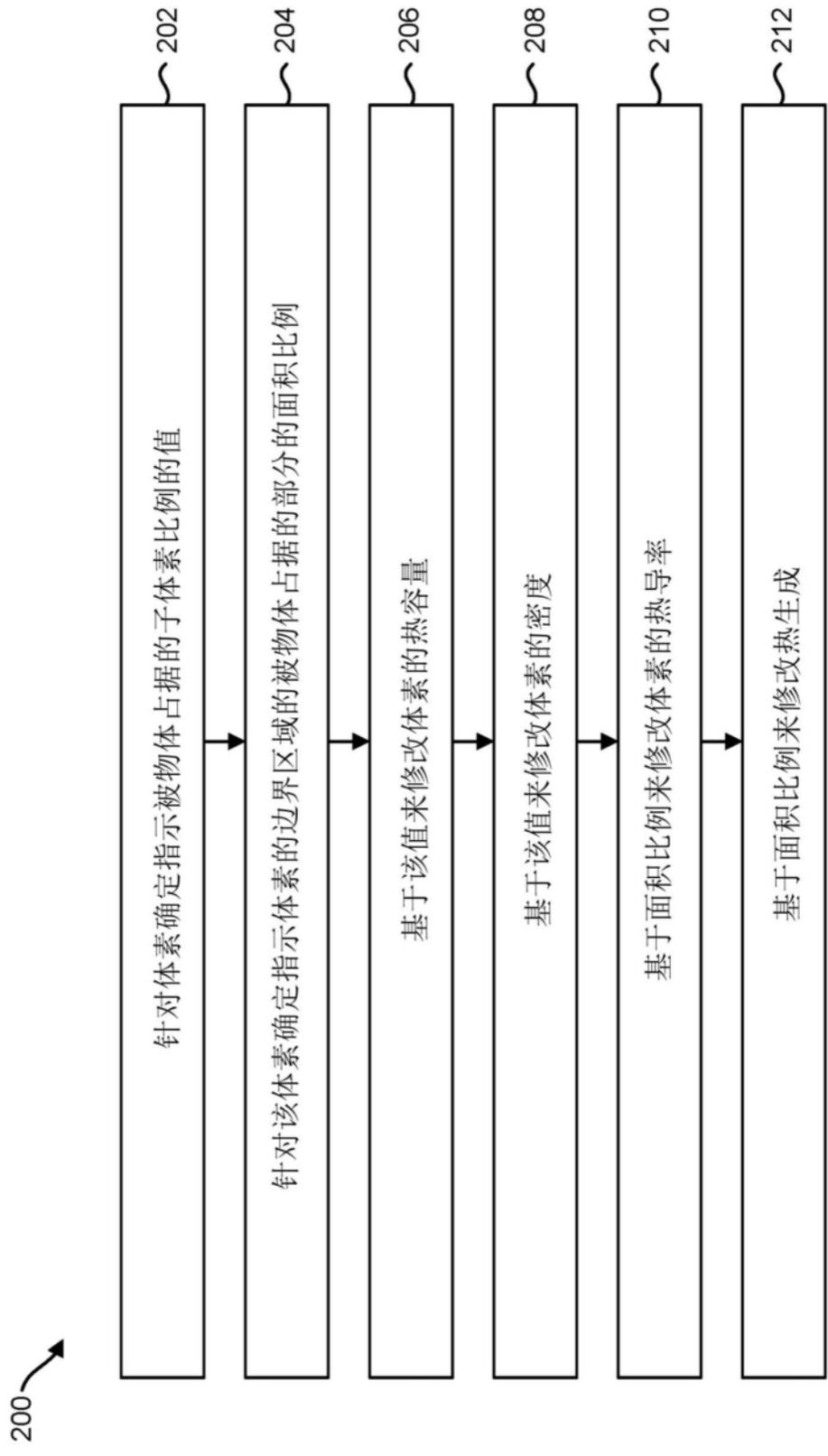


图2

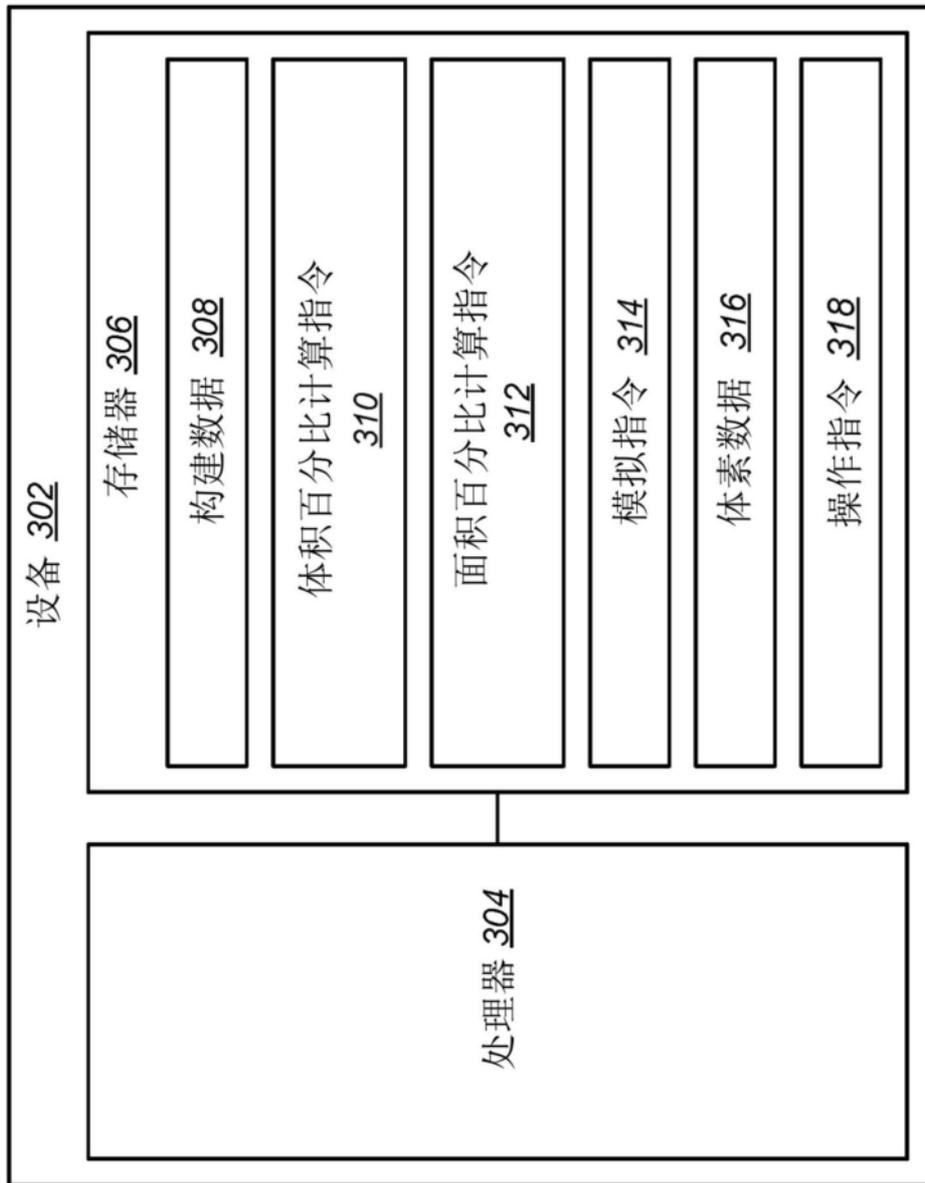


图3

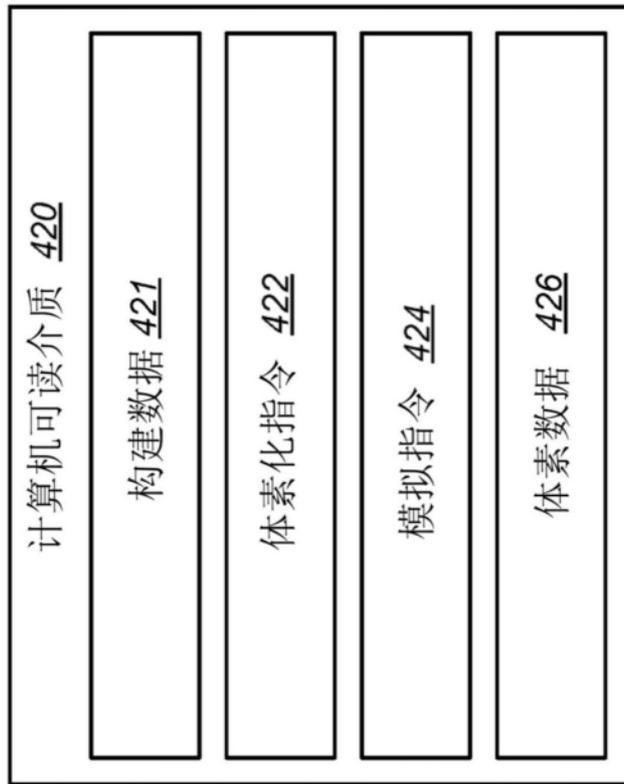


图4

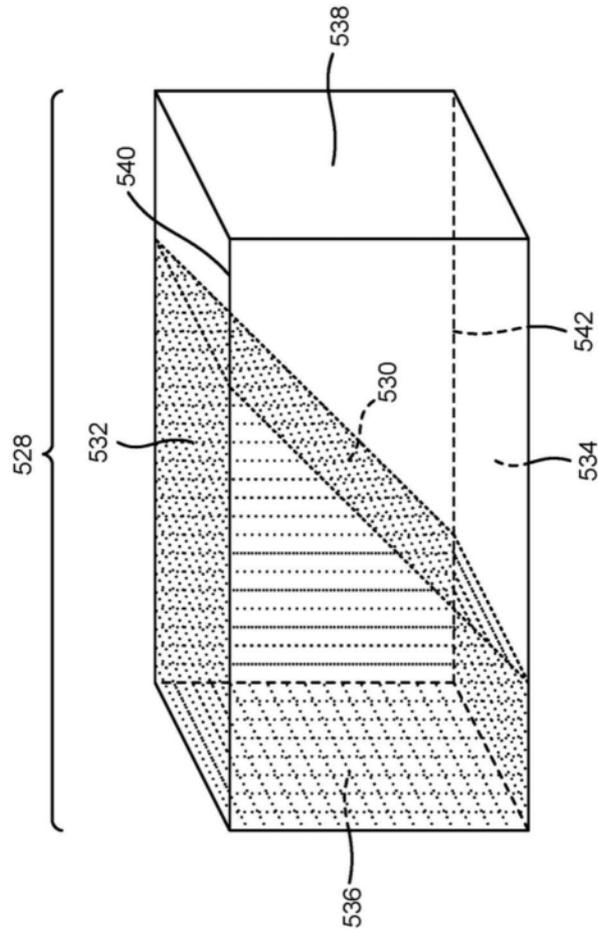


图5

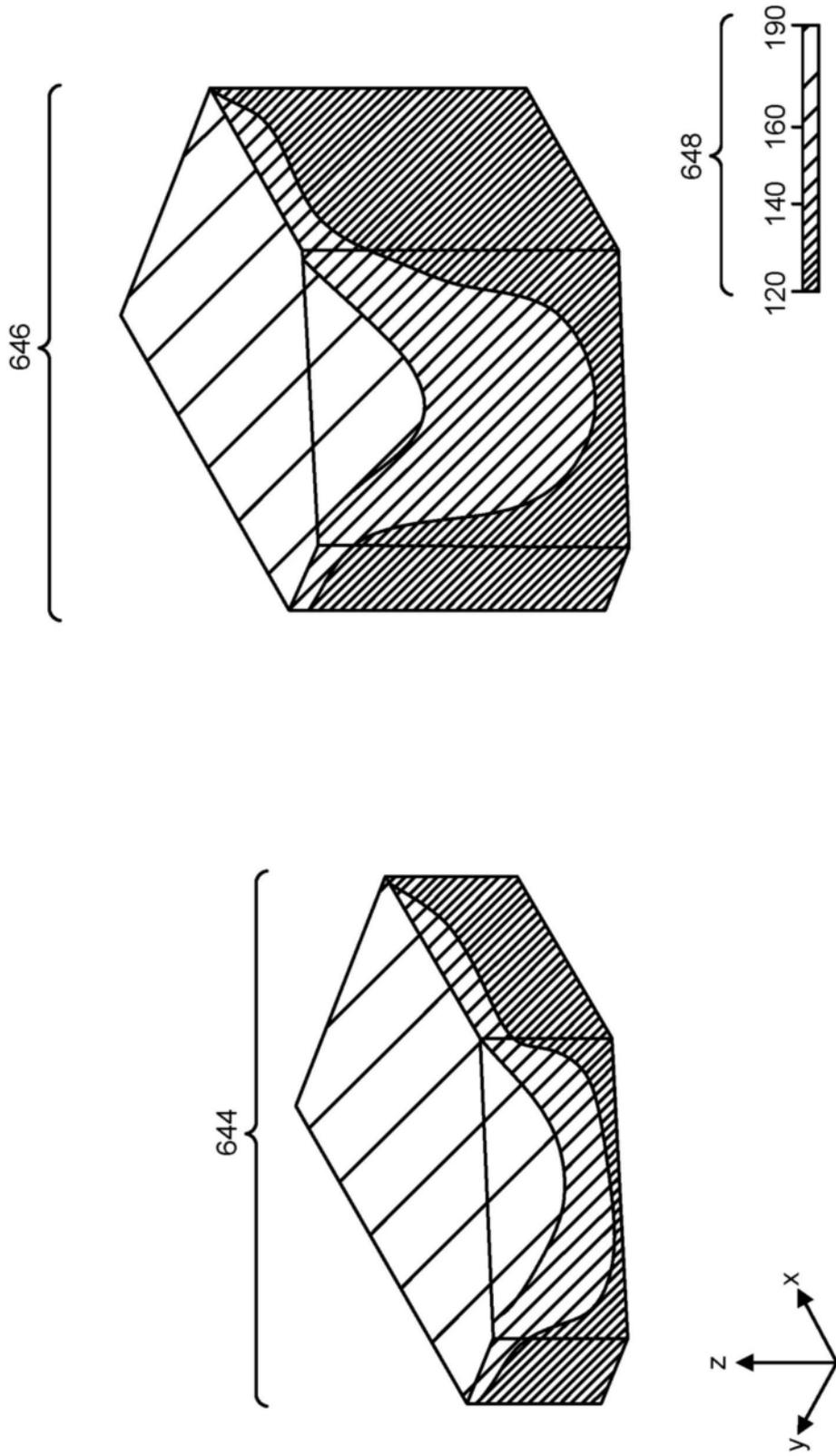


图6