



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107924583 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 201680050506.0

(22) 申请日 2016.08.15

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107924583 A

(43) 申请公布日 2018.04.17

(30) 优先权数据

14/842,039 2015.09.01 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2018.02.28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/046960 2016.08.15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02017/040006 EN 2017.03.09

(73) 专利权人 西门子工业软件有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 乔纳森·梅肯 尼兰扬·慕克吉

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司
责任公司 11240

代理人 余刚 李慧

(51) Int.CI.

G06T 17/10 (2006.01)

G06T 17/20 (2006.01)

G06F 30/23 (2020.01)

(56) 对比文件

US 5345490 A, 1994.09.06

CN 102598002 A, 2012.07.18

US 2009092301 A1, 2009.04.09

Samuel H.Huang等. Automatic generation of quadrilateral multi-block topology for FEA/CFD applications.《2002 IEEE International Conference on Industrial Technology》.2003, 第1300–1305页.

J.Sarrate等.Unstructured and Semi-Structured Hexahedral Mesh Generation Methods.《百度学术》.2014, 第1–21页.

Subir Kumar Ghosh. Approximation algorithm for art gallery problems in polygons and terrain.《Discrete Applied Mathematics》.2010, 第158卷(第6期), 第718–722页.

审查员 卢济敏

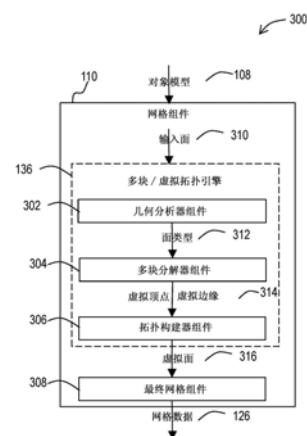
权利要求书3页 说明书16页 附图21页

(54) 发明名称

网格生成系统和方法

(57) 摘要

提供促进生成用于结构的对象模型的网格的系统(100)和方法,该网格用于与在结构上实行的有限元分析模拟一起使用。系统可包括至少一个处理器(102),配置为至少部分地基于输入面所包含的回路(504、506)的数目,对结构的三维(3D)对象模型(108)的输入面(204、310、502)的类型(312、508)进行分类。处理器还可基于输入面的所分类的类型,从处理器被配置使用的多种多块分解算法当中选择多块分解算法(1006、1008、1010、1012、1014)。进一步地,处理器可使用选择的多块分解算法来确定多个块(1506)在输入面上的位置。另外,处理器可将每个块网格化以产生限定将输入面划分成多个四边形元素(210)的网格(202)的网格数据(126)。



1. 一种用于生成网格的系统(100),包括:

至少一个处理器(102),被配置为:

至少部分地基于结构的三维对象模型(108)的输入面(204、310、502)所包含的回路(504、506)的数目,对所述输入面的类型(312、508)进行分类;

基于所述输入面的分类的类型,从所述处理器被配置使用的多种多块分解算法当中选择多块分解算法(1006、1008、1010、1012、1014);

使用所选择的多块分解算法确定多个块(1506)在所述输入面上的位置,其中所述多个块是所述所选择的多块分解算法将所述输入面划分所得的虚拟面;

确定表示所述虚拟面的虚拟面数据;并且

将每个块网格化以产生网格数据(126),所述网格数据限定基于所述虚拟面数据将所述输入面划分成多个四边形元素(210)的网格(202)。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述至少一个处理器被配置为生成所述输入面的平坦化二维表示(1702),其中,所述至少一个处理器被配置为从多种输入面类型当中确定所述输入面的分类的类型,其中该多种输入面类型是所述至少一个处理器被配置为基于所述输入面的二维表示而确定的,其中,所述至少一个处理器被配置为使用所述输入面的二维表示,基于所述输入面的分类的类型,来确定所述多个块在所述输入面上的位置,其中,所述至少一个处理器被配置确定的所述多种输入面类型被配置为区分:所述输入面是否包含单个回路或多个回路;所述输入面是否包含圆柱形表面;所述输入面是否包含中轴线珠面;以及所述输入面是否包含中轴线环面。

3. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述至少一个处理器被配置为选择并且使用以处理所述输入面的二维表示的所述多种多块分解算法包含笛卡尔板分解算法,所述笛卡尔板分解算法用于将具有圆柱形表面的所述输入面细分成与所述圆柱形表面的轴线平行的多个平行板形块,其中,所述至少一个处理器被配置为选择并且使用以处理所述输入面的二维表示的多种可用多块分解算法包含至少一种中轴线分解算法,所述至少一种中轴线分解算法包含以下中的至少一种:

基于中轴线的珠面分解算法,被配置为将具有中轴线珠面类型输入面分类的所述输入面中的至少一个输入面细分成三个块,所述三个块包含在珠面的中间的、侧面与两个弯曲块帽连接的矩形块;

中轴线珠面类型分解算法,被配置为将具有中轴线环面类型输入面分类的所述输入面中的至少一个输入面细分成包含多个拱形块的多个块;和/或

基于中轴线和基于可视性的组合分解算法,被配置为基于确定所述输入面中的至少一个输入面不是圆柱形类型输入面或中轴线环面类型输入面,细分具有多回路类型输入面分类的所述输入面中的至少一个输入面。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中,当选择所述基于中轴线和基于可视性的组合分解算法时,所述至少一个处理器被配置为执行算法的基于可视性的分解部分,在算法的基于可视性的分解部分中,基于候选分割线的正交、对称性和短小确定分割线(1402、1502、1602、2214),其中所述分割线将所述输入面细分成块。

5. 根据权利要求4所述的系统,其中,所述至少一个处理器被配置为选择并且使用以处理所述输入面的二维表示的所述多种可用多块分解算法包含至少一种画廊分解算法,当所

述至少一个处理器确定所述输入面不是圆柱形类型输入面或中轴线珠面类型输入面时,所述至少一种画廊分解算法用于细分具有单个回路类型输入面分类的所述输入面。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的系统,其中,所述网格包含内部结点(206),其中,大部分内部结点具有四价,并且其中大部分四边形元素具有四个在80°至100°之间的夹角(208),其中,所述至少一个处理器被配置为至少部分地基于所述网格数据和表示通过操作至少一个输入装置(116)提供的施加到所述结构的负载的数据,来确定对所述结构的物理效果(130),其中,所述至少一个处理器能操作以通过显示装置(114)生成至少一个图形用户界面(120),所述至少一个图形用户界面显示所述对象模型的视觉表示(122)、用于所述对象模型的网格(132)和确定的对所述结构的物理效果,其中,所述至少一个处理器被配置为使得所述至少一个图形用户界面被用于修改所述对象模型并且将表示修改的对象模型的数据存储在至少一个数据储存器中。

7. 根据权利要求6所述的系统,进一步包括计算机系统,所述计算机系统包含存储器(106)、应用软件组件(104)、所述至少一个处理器、所述至少一个输入装置和所述显示装置,其中,所述应用软件组件由指令组成,在将所述指令包含在所述存储器中并且由所述至少一个处理器执行时,所述指令使所述至少一个处理器响应于通过所述至少一个输入装置的输入来使对象模型被加载到所述存储器中、被网格化,并且对其进行有限元分析。

8. 一种用于生成网格的方法,包括:

通过操作至少一个处理器(102):

至少部分地基于结构的三维对象模型(108)的输入面(204、310、502)所包含的回路(504、506)的数目,对所述输入面的类型(312、508)进行分类;

基于所述输入面的分类的类型,从所述处理器被配置为使用的多种多块分解算法当中选择多块分解算法(1006、1008、1010、1012、1014);

使用所选择的多块分解算法来确定多个块(1506)在所述输入面上的位置,其中所述多个块是所述所选择的多块分解算法将所述输入面划分所得的虚拟面;

确定表示所述虚拟面的虚拟面数据;并且

将每个块网格化以产生网格数据(126),所述网格数据限定基于所述虚拟面数据将所述输入面划分成多个四边形元素(210)的网格(202)。

9. 根据权利要求8所述的方法,进一步包括:通过操作所述至少一个处理器:

生成所述输入面的平坦化二维表示,其中,对所述输入面的类型进行分类是基于所述输入面的二维表示,其中,基于所述输入面的二维表示,执行使用所选择的多块分解算法来确定所述多个块在所述输入面上的位置;并且

其中,针对多个输入面对所述输入面的类型进行的分类包含确定:所述输入面中的至少一个输入面是否包含单个回路或多个回路;所述输入面中的至少一个输入面是否包含圆柱形表面;所述输入面中的至少一个输入面是否包含中轴线珠面;以及所述输入面中的至少一个输入面是否包含中轴线环面。

10. 根据权利要求9所述的方法,进一步包括:执行针对多个输入面选择并且使用所述多块分解算法包含:选择并且使用笛卡尔板分解算法,将具有圆柱形表面的输入面中的至少一个输入面细分成平行于所述圆柱形表面的轴线的多个平行板形块。

11. 根据权利要求9所述的方法,进一步包括:选择并且使用至少一种中轴线分解算法,

所述中轴线分解算法包含:选择并且使用以下中的至少一种:

基于中轴线的珠面分解算法,用于将具有中轴线珠面类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面细分成三个块,所述三个块包含在珠面的中间的、侧面与两个弯曲块帽连接的矩形块;

中轴线珠面类型分解算法,用于将具有中轴线环面类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面细分成包含多个拱形块的多个块;和/或

基于中轴线和基于可视性的组合分解算法,用于基于确定所述输入面中的至少一个输入面不是圆柱形类型输入面或中轴线环面类型输入面,细分具有多回路类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面。

12.根据权利要求11所述的方法,其中,当选择所述基于中轴线和基于可视性的组合分解算法时,所述方法进一步包括:执行该算法的基于可视性的分解部分,在该算法的基于可视性的分解部分中,基于候选分割线的正交、对称性和短小确定分割线,所述分割线将所述输入面细分成块。

13.根据权利要求9所述的方法,进一步包括:基于确定所述输入面中的至少一个输入面不是圆柱形类型输入面或中轴线珠面类型输入面,选择并且使用画廊分解算法来细分具有单个回路类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面。

14.根据权利要求8至13中任一项所述的方法,其中,所述网格包含内部结点(206),其中,大部分内部结点具有四价,并且其中,大部分四边形元素具有四个在80°至100°之间的夹角(208),所述方法进一步包括:通过操作所述至少一个处理器:

至少部分地基于所述网格数据和表示通过操作至少一个输入装置提供的施加到所述结构的负载的数据,来确定对所述结构的物理效果;

通过显示装置生成至少一个图形用户界面,所述至少一个图形用户界面显示所述对象模型的视觉表示、用于所述对象模型的网格和确定的对所述结构的物理效果;

响应于通过所述至少一个输入装置的其它输入,修改所述对象模型并且将表示修改的对象模型的数据储存在至少一个数据储存器中。

15.一种非暂时性计算机可读介质(2726),编码有可执行指令(2730),当执行所述可执行指令时,使至少一个处理器(102、2702)执行根据权利要求8至14中任一项所述的方法。

网格生成系统和方法

技术领域

[0001] 本公开主要涉及用于创建、使用和管理产品和其它项目的数据的计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助设计(CAD)、可视化和制造系统、产品数据管理(PDM)系统、产品生命周期管理(PLM)系统以及类似的系统(在本文中统称为产品系统)。

背景技术

[0002] PLM系统可包含促进产品结构的设计和模拟测试的组件。这类组件可从改进中受益。

发明内容

[0003] 各种公开的实施例包含可用于促进生成结构的对象模型的网格的系统和方法，该网格用于与通过计算机辅助工程(CAE)软件对结构实行的有限元分析模拟一起使用。在一个示例中，系统可以包括至少一个处理器。至少一个处理器可以被配置至少部分地基于输入面所包含的回路的数目，来对结构的三维(3D)对象模型的输入面的类型进行分类。至少一个处理器还可以被配置为基于输入面的分类的类型，从处理器被配置使用的多种多块分解算法当中选择多块分解算法。进一步地，至少一个处理器可被配置使用选择的多块分解算法确定多个块在输入面上的位置(例如，诸如经由分割线)。另外，至少一个处理器可被配置为将每个块网格化以产生表示将输入面划分为多个四边形元素的网格的数据。

[0004] 在另一个示例中，方法可以包含通过至少一个处理器的操作而实行的各种动作。这样的方法可包含至少部分地基于输入面所包括的回路的数目，对结构的三维(3D)对象模型的输入面的类型进行分类；基于输入面的分类的类型，从处理器被配置使用的多种多块分解算法当中选择多块分解算法；使用选择的多块分解算法确定多个块在输入面上的位置(例如，诸如经由分割线)；并且将每个块网格化以产生表示将输入面划分成多个四边形元素的网格的数据。

[0005] 另一示例可包含编码有可执行指令(诸如存储装置上的软件组件)的非暂时性计算机可读介质，该可执行指令在被执行时使至少一个处理器实行该描述的方法。

[0006] 另一个示例可包含设备，该设备包含被配置用于实行对应于该描述的方法的功能的至少一个基于硬件、软件和/或固件的处理器、计算机、组件、控制器、构件、模块和/或单元。

[0007] 前述内容已经相当广泛地概述了本公开的技术特征，以便本领域的技术人员可以更好地理解下面的详细描述。将在下文中描述本公开的形成权利要求主题的附加特征和优点。本领域的技术人员将了解他们可以容易地使用所公开的概念和特定实施例作为修改或设计用于实行本公开的相同目的的其它结构的基础。本领域的技术人员还将认识到这样的等同构造不脱离本公开在其最广义的形式下的精神和范围。

[0008] 在进行下面的详细描述之前，阐述可在整个本专利文件中使用的某些词或短语的定义可为有利的。例如，术语“包含”和“包括”以及其派生词意指包括但不限于。除非上下文

另外明确指示,否则单数形式“一”、“一个”和“该”也旨在包含复数形式。进一步地,如本文中使用的术语“和/或”指代并且涵盖相关所列项目中的一个或多个的任何和所有可能的组合。除非上下文另外明确指示,否则术语“或”是包含性的,意指和/或。短语“与...相关联”和“与其相关联”以及其派生词可以意指包含、被包含在...内、与...互连、含有、被含在...内、连接到或与...连接、耦合到或与...耦合、可与...通信、与...协作、交错、并列、接近于、被结合到或与...结合、具有、具有...的特性等。

[0009] 此外,尽管在本文中可以使用术语“第一”、“第二”、“第三”等来描述各种元件、功能或动作,但是这些元件、功能或动作不应该被这些术语限制。相反,这些数字形容词用于区分不同的元件、功能或动作。例如,在不脱离本公开的范围的情况下,第一元件、功能或动作可被称为第二元件、功能或动作,并且类似地,第二元件、功能或动作可被称为第一元件、功能或动作。

[0010] 另外,诸如“处理器被配置”实行一种或多种功能或一个或多个过程的短语可以意指处理器在操作上被配置或可操作地被配置经由软件、固件和/或布线电路来实行功能或过程。例如,被配置实行功能/过程的处理器可以对应于主动执行被编程以使处理器实行功能/过程的软件/固件的处理器,和/或可以对应于在存储器或存储装置中具有可用于由处理器执行以实行功能/过程的软件/固件的处理器。还应该注意的是,“被配置”实行一种或多种功能或一个或多个过程的处理器还可以对应于特别制造或“布线”以实行功能或过程的处理器电路(例如,ASIC或FPGA设计)。进一步地,在被配置实行多于一种功能的元件(例如,处理器)之前的短语“至少一个”可以对应于每个实行功能的一个或多个元件(例如,处理器),并且还可以对应于分别实行一种或多种不同功能中的不同功能的元件(例如,处理器)中的两个或更多个。

[0011] 除非上下文另外明确指示,否则术语“与...相邻”可以意指:元件相对接近但不与另一元件接触;或者该元件与另外的部分接触。

[0012] 在整个本专利文件中提供了对某些词和短语的定义,并且本领域的技术人员将理解,在许多(如果不是大多数)情况下,这样的定义适用于这样定义的词和短语的现有以及将来的使用。尽管一些术语可以包括各种各样的实施例,但是所附权利要求可以明确地将这些术语限制于特定实施例。

附图说明

- [0013] 图1示出促进生成用于对象模型的网格的示例系统的功能框图。
- [0014] 图2示出结构良好的四边形网格的示例。
- [0015] 图3示出包含多块虚拟拓扑引擎的网格组件的示例框架。
- [0016] 图4示出几何分析器组件的示例的示例流程图400。
- [0017] 图5示出输入表面和对应的单个回路和多个回路分类的示例。
- [0018] 图6示出用于对圆柱形类型输入面进行分类的特征的示例。
- [0019] 图7示出针对输入表面确定的示例中轴线。
- [0020] 图8示出中轴线的中边缘和中顶点。
- [0021] 图9示出珠面和环面的示例拓扑。
- [0022] 图10示出用于多块分解器组件的流程图。

- [0023] 图11示出限定细分输入面的块的虚拟边缘线的示例。
- [0024] 图12示出经由中轴线分解算法去除的在顶点处的凹面的示例。
- [0025] 图13示出可以通过中轴线分解算法评估的从每个凹面延伸的德洛内 (Delaunay) 边缘的示例。
- [0026] 图14示出由在每个中边缘上的位置 (在该位置处,圆的直径为最大或最小) 处的内接圆的接触点限定的分割线的示例安置。
- [0027] 图15示出针对多回路环面类型输入面添加的分割线的示例安置。
- [0028] 图16示出针对多回路环面类型输入面添加的分割线的示例安置。
- [0029] 图17示出将圆柱形输入表面平坦化并且将其与全局笛卡尔 (X, Y) 坐标系的正交轴线对齐的示例。
- [0030] 图18和图19示出通过画廊 (Art Gallery) 多分块算法延伸正交直线以分隔输入面的示例。
- [0031] 图20示出针对输入面描绘反射顶点和其配对之间的关系的缺口 (notch) 图。
- [0032] 图21示出在3D空间中的具有9个反射顶点的画廊分解的单个回路输入面上的最终网格。
- [0033] 图22示出通过基于可视性分解算法添加到输入面的分割线的示例。
- [0034] 图23示出其中通过基于可视性分解算法将输入面分割成四区域的示例。
- [0035] 图24示出在通过基于可视性分解算法产生块之后在图23的输入面上生成的网格的示例。
- [0036] 图25示出其中拓扑构建器组件基于块位置数据为输入表面生成虚拟拓扑的示例。
- [0037] 图26示出促进生成用于对象模型的网格的示例方法的流程图。
- [0038] 图27示出在其中可实施实施例的数据处理系统的框图。

具体实施方式

[0039] 现在将参照附图描述与用于生成对象模型的网格的系统和方法有关的各种技术，其中相似的参考标号始终表示相似的元件。以下讨论的附图以及用于在本专利文件中描述本公开的原理的各种实施例仅作为说明，并且不应被解释为以任何方式限制本公开的范围。本领域的技术人员将理解，可以以任何适当布置的设备实施本公开的原理。应该理解，可以由多个元件执行被描述为由某些系统元件实行的功能。类似地，例如，元件可以被配置用于执行被描述为由多个元件实行的功能。将参考示例性非限制性实施例描述本申请的许多创新教导。

[0040] 许多形式的产品系统(诸如CAE和CAD软件)能够操作以操纵和处理表示对象(例如，零件、组件和子组件)的结构的各种类型的三维(3D)对象模型(诸如存储在CAD文件中)。具体地，CAE软件可以用于对对象模型进行测试和/或模拟。这样的模拟例如可包含施加各种负载以及响应于这样的负载，基于生成的结构的网格来计算结构如何表现。例如，在示例实施例中，模拟软件可使用生成的结构对象模型的网格来实行结构的应力分析。在其它示例中，模拟软件可能使用网格模拟汽车碰撞(或其它测试)对由对象模型表示的许多连接结构的物理效果。

[0041] 为了实行对结构的模拟，结构的对象模型可以经历将结构的表面划分成许多连接

的四边几何形状的网格的网格化过程。模拟软件可以使用这样的网格以及一个或多个对象模型的用户可配置特性(诸如待制成结构的材料)和用户可配置分析参数,来实行诸如有限元分析的数学处理,以便导出关于模拟(例如,静态负载、碰撞)可对结构具有的效果的信息(例如,物理变化、位移)。

[0042] 参照图1,其示出促进生成用于对象模型的网格的示例系统100。系统100可包含至少一个处理器102,该处理器被配置用于执行来自存储器106的至少一个应用软件组件104,以便实行本文描述的各种特征。应用软件组件可以被配置(即经编程)用于使处理器实行本文描述的各种动作和功能。例如,应用软件组件可以被配置用于使处理器102从存储器和/或一些其它数据存储库138(例如,文件系统、PLM数据库)访问3D对象模型数据108。

[0043] 应用软件组件104可对应于和/或包含在对象模型上生成网格的网格部件110。此外,应用软件组件可对应于和/或包含模拟软件组件112(诸如CAE软件),该模拟软件部件可由一个或多个软件组件组成,该一个或多个软件组件包含实行在对象模型上生成网格的网格组件110和/或与该网格组件通信。

[0044] 进一步地,如下面将更详细描述的,网格软件组件可由促进网格生成的一个或多个组件组成。然而,应该了解,在本文中被描述为由独立的组件实行的特征可由更少的组件和/或单个组件实行。此外,由单个所描述的组件实行的特征可以由彼此通信的两个或更多个软件组件实行。

[0045] 可调整用于包含本文描述的功能中的至少一些功能的CAD/CAM/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程)软件的示例包含可从西门子产品生命周期管理软件公司(德克萨斯州,普莱诺)获得的NX应用程序套件。然而,还应该理解,所描述的网格组件可对应地集成到其它类型应用软件组件中,诸如可使用3D对象模型的网格的建筑软件、动画渲染软件和/或任何其它3D软件。

[0046] 所描述的系统可包含至少一个显示装置114(诸如显示屏)和至少一个输入装置116。例如,可包含处理器作为PC、笔记本电脑、工作站、服务器、平板电脑、移动电话或任何其它类型的计算系统的一部分。显示装置例如可包含LCD显示器、监视器和/或投影仪。输入装置例如可以包括鼠标、指示器、触摸屏、触摸板、绘图板、跟踪球、按钮、小键盘、键盘、游戏控制器、相机、捕获运动姿势的运动感测装置或能够提供本文描述的输入的任何其它类型的输入装置。此外,对于诸如平板电脑的装置,可以将处理器102集成到包括用作输入和显示装置的触摸屏的壳体中。进一步地,应该了解,一些输入装置(诸如游戏控制器)可包含多个不同类型的输入装置(模拟杆、方向键和按钮)。

[0047] 此外,应该注意,本文描述的处理器可位于远离本文描述的显示和输入装置的服务器中。在这样的示例中,所描述的显示装置和输入装置可被包含在通过有线或无线网络(其可包含因特网)与服务器(和/或在服务器上执行的虚拟机)通信的客户端装置中。在一些实施例中,这样的客户端装置例如可执行远程桌面应用或可对应于实行与服务器的远程桌面协议的门户装置,以便将来自输入装置的输入发送到服务器并且接收来自服务器的视觉信息以通过显示装置进行显示。这样的远程桌面协议的示例包括Teradici的PCoIP、微软的RDP和RFB协议。在另一个示例中,这样的客户端装置可对应于运行网页浏览器或瘦客户端应用程序的计算机。来自用户的输入可从网页浏览器或瘦客户端应用程序传输,以在服务器上进行评估、由服务器渲染,并且将图像(或一系列图像)发送回客户端计算机以由网

页浏览器或瘦客户端应用程序显示。此外,在一些示例中,本文描述的远程处理器可对应于在服务器的物理处理器中执行的虚拟机的虚拟处理器的组合。

[0048] 所描述的应用软件组件104可被配置响应于通过输入装置116接收的对象加载输入118来访问3D模型数据108,并且使显示装置114输出显示基于3D模型数据108的3D对象模型122的视觉表示的图形用户界面(GUI)120。进一步地,应用软件组件104可被配置响应于通过输入装置接收的网格生成输入124来使网格组件110基于加载的3D模型数据108生成网格数据126。还可以将这样的网格数据以与对象模型数据108(例如,CAD数据)相关的关系储存在数据储存器138中。

[0049] 另外,应用软件组件104可被配置响应于通过输入装置接收的模拟输入128来使模拟组件112处理网格数据126并产生模拟结果数据130。这样的模拟结果数据可以对应于关于模拟(应力测试、碰撞)对结构的效果的定量数据,诸如物理变化和位移。还应该了解,所描述的应用软件组件104可操作以使GUI 120显示生成的网格的视觉表示132以及模拟结果的视觉表示134。进一步地,所描述的应用软件组件104可操作以将这样的模拟数据以与对象模型数据108相关的关系保存到数据储存器138。

[0050] 在表面网格化中,对于某些模拟应用,包括结构良好的四边形元素的表面网格可优选于包括三角形元素的表面网格,以便提高模拟的准确性、稳固性和求解器收敛速度。所描述的网格组件110的示例实施例可以包含被配置实行生成良好质量的四边形网格的多块/虚拟拓扑引擎136(例如,软件功能),该四边形网格最小化和/或消除了手动细化网格的子部分的任何需要(例如通过具有更密集四边形元素的更精细网格)。

[0051] 图2示出示例多回路面204的这样结构良好的四边形网格202的示例200。如本文所定义的,良好质量的四边形网格被定义为这样一种网格,其中大部分内部结点206的价(即,等级-入射到顶点的元素的数目)为四,并且尽可能多的四边形元素210(诸如至少其大部分)的四个夹角208中的每个夹角基本上为90°上(例如,80°如至100°,)。为此,示例实施例解决的特定问题是在工业零件和组件的一般表面上自动生成这样的网格。

[0052] 返回参照图1,网格组件110的示例实施例可被配置自动地使对象模型108的表面的一个或多个选择的面被所描述的多块虚拟拓扑引擎136处理。这样的引擎136可被配置(即经编程)使用为了最好地实现生成结构良好的四边形网格而选择的特征依赖多分块策略的生态位(niche)系统来将(输入到引擎136的)输入面细分成各种最大凸“块”。

[0053] 图3中示出用于所描述的网格组件110和多块虚拟拓扑引擎136的示例框架300。在该示例中,引擎136可由三层组件组成。在本文中被称为几何分析器组件的第一组件302可被配置使用一系列基于拓扑和/或几何的特征识别工具来对输入面310的类型进行归类。

[0054] 该描述的多块虚拟拓扑引擎还可包含在本文中被称为多块分解器组件的第二组件304。这样的多块分解器组件304可被配置取决于由几何分析器组件302分类/识别的面类型312,对输入面310实行许多不同多分块过程中的任一个(经由可选择的算法)。多块分解器组件(针对这些不同多分块过程中的每个过程)的输出可包含表示在输入面上的块位置的数据,诸如可用于确定块位置的虚拟顶点和虚拟边缘314。

[0055] 另外,所描述的多块虚拟拓扑引擎300可包含在本文中被称为拓扑构建器组件的第三组件306。这样的拓扑构建组件306可被配置基于由多块分解器组件304确定的数据(例如,虚拟顶点和虚拟边缘314)来确定表示将输入面310细分成块的虚拟块拓扑的虚拟面316

的数据。

[0056] 由所描述的多块虚拟拓扑引擎136产生的这样的虚拟面数据316可传递到最终网格组件308。这样的最终网格组件308可被配置将虚拟面网格化以便在整个输入面310上生成结构化的保形网格数据126。

[0057] 图4示出所描述的几何分析器组件302可实行以对表面面类型分类的示例工作流程(由多个步骤组成)的流程图400。在该示例中,在第一步骤402中,几何分析器组件可被配置(例如,经编程)基于输入面所包括的回路的数目对输入面404进行归类。例如,回路可对应于在输入面本身周围延伸或界定通过输入面的开口或孔口的连续表面部分。因此,不具有孔口的输入面具有单个回路,而具有通过输入面的一个或多个孔口的输入面具有多个回路。

[0058] 例如,在第一步骤402处,几何分析器组件可确定输入面404是否包括单个回路或多个回路。在该示例中,可以将所有多回路面分类为M0类型面,并且可以将所有单个回路面分类为S0类型面。图5示出各种输入表面502以及可由所描述的几何分析器组件确定的这些各种表面的对应单个回路504和多回路506分类的示例500。

[0059] 根据在第一步骤402中确定的面类型,几何分析器组件可进行不同的确定以增进面分类。例如,几何分析器组件可实行第二步骤406,其中几何分析器组件对输入面404执行圆柱面检测。如果M0或S0类型面(根据第一步骤)被识别为圆柱面(在第二步骤中),则可以由几何分析器组件将其分别再分类为M1或S1类型面。

[0060] 如图6的示例600所示,几何分析器组件可被配置通过求解表面602的最佳拟合轴线604来检测圆柱形表面602。如果最小二乘逼近的拟合误差低于设定的阈值,则表面被视为圆柱形。在示例实施例中,几何分析器组件可被配置基于M类型面的密集样本网格上的所有点在预定公差内满足上述准则的确定来将面标记为圆柱面。

[0061] 另外,为了增进本文描述的后续过程,(除了对面类型归类之外)几何分析器组件可针对被分类的表面将与面的圆柱体轴线604平行的对应虚拟接缝边缘606(和/或与用于被分析的表面的CAD数据一起)储存在存储器中。

[0062] 返回参照图4,几何分析器组件可被配置实行第三步骤408,其中使用加权半边缘方法(WHEM)平坦化算法(或其它平坦化算法),几何结构将所有面从3D空间变换为平坦的UV空间以实行镶嵌3D面的2D参数化。应用于线性和非线性问题的WHEM平坦化算法使用保形映射和三角形高线保持技术之间的折衷方案,以在变换失真高度降低的情况下生成2D域。本文描述的与分类、多块分解和网格化相关的进一步的步骤和过程可以在该2D域中实行,并且然后可将所得的网格化表面变换回3D空间。

[0063] 例如,几何分析器组件可以被配置基于在第一和第二步骤中实行的分类的类型在该2D域中实行进一步的面类型识别。在第三步骤408中平坦化之后,可以使用中轴线识别来处理所有的S0和M0(即,非圆柱形)面以检测面的珠面和环面特征。

[0064] 例如,在第四步骤410中,几何分析器组件可以针对所有S0(即,单个回路非圆柱形)面实行珠面检测。此外,例如,在第五步骤412中,几何结构302可以针对所有M0(多回路非圆柱形)面实行环面检测。在该示例中,可以将被识别为珠面的任何S0类型面再分类为S1类型面。此外,可以将被识别为环面的任何M0类型面再分类为M2类型面。

[0065] 图5示出可由所描述的几何分析器组件确定的示例输入表面502的示例面识别分

类508。然而,应该了解,所描述的几何分析器组件的替代实施例可以识别面的更少、替代和/或附加的类型并且对其分类。

[0066] 参照图7所示的示例表面700,在示例实施例中,几何分析器组件可被配置通过对象边界706上的一组点的德洛内三角剖分导出在2D域中的面704的中轴线702。将一组点的德洛内三角剖分定义为具有形成每个德洛内三角形710的顶点的三个点的外接圆708没有含有其它点的特性的三角剖分。如图7所示,当边界上的连续点之间的距离趋于零并且每个德洛内三角形710的外接圆708变成内接在对象内时,中轴线由外接圆中心712描绘出。

[0067] 参照图8所示的示例800,存在构成2D中的中轴线的两种实体,即中边缘802和中顶点804。中轴线上属于中边缘的点与边界上的两个实体等距。相反地,属于中顶点的那些点与边界上的三个实体或更多个实体等距。如图8所示,中边缘由中顶点连接。可基于限定其连接的中顶点所根据的德洛内三角形的类型对中边缘进行拓扑地分类。如图8所示,可以将德洛内三角形的三种主要类型分类为在对象边界812上分别具有0个、1个和2个边缘的接合(J) 806、标准(N) 808或角落(C) 810。因此,侧面连接有从J和C类型德洛内三角形导出的中顶点的中边缘将被分类为J-C中边缘,等等。

[0068] 参照图9中示出的示例900,所描述的几何分析器组件可使用中轴线来检测的两种不同特征是珠面(S类型)902和环面(M类型)904的中拓扑。所有珠面都具有C-C类型中边缘。环面为特殊情况,其中中边缘不具有中顶点并且所有轴线点都是从N类型德洛内三角形导出的。该边缘可被称为N-N中边缘。

[0069] 返回参照图3,如先前所讨论的,多块分解器组件基于由几何分析器组件302确定的具体分类选择具体多块细分过程,并且对(在2D域中的)面实行具体多块细分过程。这样的可选择的多块细分过程可包含:基于面类型的具体分类的一种或多种中轴线分解算法、笛卡尔分板分解算法和画廊分解算法。然而,还应该了解,进一步的替代实施例可基于由所描述的几何分析器组件的替代实施例实行的面的不同分类,使用更少、替代和/或附加的分解算法。例如,如下面将更详细描述的,中轴线分解算法中的一种可与基于可视性的分解算法组合,以便处理相对复杂的面曲率。

[0070] 图10示出用于由所描述的多块分解器组件实行的功能的流程图1000。在该示例中,在第一步骤1002中,多块分解器组件可被配置(例如,经编程)基于输入面1004的面类型分类选择可用分解算法中的一种,并且使第二步骤被实行,其中选择的分解算法用于处理输入面。

[0071] 例如,如果面类型是S0类型(即,单个回路非珠面类型),则多块分解器组件可以使第二步骤1006被执行,其中画廊分解算法用于处理输入面1004。此外,如果面类型是S1或M1类型(即,单回路或多回路圆柱面类型),则多块分解器组件可使替代的第二步骤1008被执行,其中笛卡尔板分解算法用于处理输入面1004。另外,如果面类型是M2类型(即,多回路环面类型),则多块分解器组件可以使替代的第二步骤1010被执行,其中基于中轴线的环面分解算法用于处理输入面1004。进一步地,如果面类型是S2类型(即,单回路珠面类型),则多块分解器组件可以使替代的第二步骤1012被执行,其中基于中轴线的环面分解算法用于处理输入面1004。另外,如果面类型是M0类型(即,多回路非圆柱面非环面类型),则多块分解器组件可以使替代的第二步骤1014被执行,其中基于中轴线的分解算法与基于可视性的分解算法组合使用以处理输入面1004。

[0072] 这些分解算法中的每种算法的输出可储存在存储器或其它数据储存器中，并且可以对应于表示由将输入面分割成多个块(即，虚拟面)的线限定的块位置的数据，并且这些线表示输入面上的虚拟边缘候选。表示这样的分割线的数据可包含限定对于这样的分割线的虚拟边缘的区位的虚拟顶点。图11示出将先前关于图5描述的不同的经分类的面中的每个面细分成多个块的这些确定的虚拟边缘线1102的示例1100。然而，应当了解，所描述的多块分解器组件的替代实施例可取决于与本文描述的分解算法相关联的配置和参数，将虚拟边缘线安置在不同的位置。另外，以下提供了关于该数据可以如何由这些算法中的每种算法生成的更详细讨论。

[0073] 所描述的中轴线分解算法可采用使用外心和三角形高度两者来计算中轴线点的混合技术。拓扑遍历算法建立中边缘。通过分析边界上的退化、平坦三角形避免了多余的中边缘或分支。将厚度、边缘长度、接触点的所有相关联中轴线属性与面一起储存。另外，内接圆的接触点信息用于限定用于珠面和环面特征的分割线的位置。对于更复杂的多回路面，可采用导出中轴线的德洛内网格去除凹面，并且根据内接圆直径的厚度信息限定沿着中边缘的分割位置。

[0074] 例如，可以将基于中轴线和基于可视性的组合分解算法1014(图10所示)应用于被分类为M0类型面(多回路非圆柱面和非环面类型)的输入面。在输入面的处理中，该算法的初始步骤可以为从面去除任何凹面。如图12的示例1200所示，可以通过顶点夹角 θ 识别凹面。当 θ 约等于 270° 或更大时，这将识别出在顶点处的凹面，当由所描述的多块分解器组件实行算法时，将去除该凹面。

[0075] 在示例实施例中，可以通过算法实行域的德洛内镶嵌以基于该原理识别在顶点处的凹面。此外，还可以采用三角剖分选定边缘的最优分割以去除凹面。例如，如图13的示例1300所示，可确定并评估从每个凹面延伸的德洛内边缘，并且可选择最正交的边缘1302。

[0076] 如图14示出的示例所示，在已经去除了所有凹面之后，该所描述的算法的下一个步骤可以是安置分割线1402，该分割线由在每个中边缘上的区位(在该区位处，内接圆的直径为最大或最小)处的内接圆的接触点限定。在示例实施例中，可以生成的最复杂的子区域是在围绕中顶点的所有三个中边缘被分割而留下六边子区域1404的地方。

[0077] 该描述的中轴线算法可与基于可视性的分解算法组合以提供用于复杂面的附加分割线。在下面相对于图22至图24更详细地描述基于可视性的分解算法的描述。然后，通过去除凹面、中轴线分解和可视性分解生成的分割线可由多块分解器组件储存为输入面上的虚拟边缘候选。

[0078] 此外，例如，可以将环面中轴线分解算法1010应用于被分类为M2类型面(多回路环面类型)的输入面。如在图15中针对环面所示，由多块分解器组件将由内接圆1504的接触点限定的分割线1502以等距间隔安置在输入面上，以产生多个拱形块1506。分割线的数目可以是所描述的应用软件组件的用户可配置参数以便配置分块的粒度。

[0079] 图15示出其中输入面上的分割线1502的数目为4的示例。这样的分割线可以产生四个四边块1504。所确定的分割线可由多块分解器组件存储为输入面上的虚拟边缘候选。

[0080] 另外，可将珠面中轴线分解算法1012应用于被分类为S2类型面(单回路珠面类型)的输入面。如在图16中针对珠面示出的示例1600中所示，可以与中边缘的起点和终点一定的偏移安置由内接圆1604的接触点限定的分割线1602。这限定三个块，包含在珠面的中间

的、侧面与两个弯曲帽1608、1610连接的矩形部分1606。可将这样确定的分割线储存为用于输入面的虚拟边缘候选。

[0081] 在示例实施例中,笛卡尔板分解算法可针对与存在轴线的圆柱体和周期性表面一起使用。由于板全部平行于轴线并且彼此平行,所以即使它们不被映射网格化,该算法也确保对可容易地进行网格化的薄板进行规则和结构化的分解,从而给予网格结构化的外观和感觉。此外,使用最小二乘逼近来计算最佳拟合轴线不仅使得能够识别圆柱形特征,而且还能为由笛卡尔板分解算法使用的笛卡尔栅格对齐提供参考数据。

[0082] 例如,可将笛卡尔分板分解算法应用于被分类为S1和M1类型面(单回路和多回路圆柱面类型)的输入面。如在图17示出的示例1700中所示,在将3D圆柱形面602平坦化(由几何分析器组件实行)为2D空间期间,还将3D到UV变换应用于虚拟接缝边缘606(由几何分析器组件确定)。所得平坦化的面1702和虚拟接缝边缘1704在2D UV空间中通常会处于非轴向对齐的取向。

[0083] 通过笛卡尔分板算法实行的初始步骤可将变换应用于2D UV空间中的平坦化的面1702,以将其与全局笛卡尔坐标系(X,Y)的正交轴线对齐。当虚拟接缝边缘1704与圆柱体轴线对齐时,可计算变换以将其与笛卡尔栅格的Y轴线1706对齐。然后将该变换应用于平坦化的面1702,从而产生对齐的平坦化的面1708(其中对应的圆柱轴线604与Y轴线平行)。

[0084] 通过笛卡尔分板算法实行的下一个阶段可以是限定板形块,该板形块细分面并且平行于输入面的对应圆柱轴线。板块的数目可是所描述的应用软件组件的用户可配置参数,以便配置分块的粒度。可基于可配置的板元素的数目确定板宽度。然后可通过计算在由所确定的板宽度限定的每个间隔处垂直延伸的线和对齐的平坦化的面1708的边界之间的交点来生成分割线。

[0085] 例如,可对具有单个回路的面采用画廊多分块算法。其取决于粗糙的边界离散化并且避免使用德洛内网格。例如,可将画廊分解算法应用于被分类为S0类型面(单回路非圆柱面非珠面类型)的输入面。画廊定理(亦称作看守者定理)为优化画廊的监视提供基础。它指出对于具有n个顶点的一般单回路多边形地板,n/3个地板守卫g(n)或监视相机有时是必需的,并且总是足够的。多个引理可用于提供将非凸正交多边形细分成凸正交区域的廉价并且智能的方式。凹多边形从其反射顶点的正交分隔可产生面的凸分隔。因此对于任何具有r个反射顶点的一般多边形,可将可使用的引理写为:

$$[0086] \quad \frac{r}{2} + 1 \leq A_n \leq r + 1$$

[0087] 其中 A_n 是所得的凸子区部的数目。图18示出从r(4)个反射顶点画出的(即,延伸的)r(4)个最短正交直线可如何将多边形分隔为r+1(5)个凸子区部的示例1800。图19示出在最小条件情况下的示例1900,其中r(8)个反射顶点彼此相对出现,并且将r/2(4)个最短正交直线画出(延伸)以将具有r(8)个顶点的凹多边形分解为r/2+1(5)个凸子区部。

[0088] 临时使用该引理并将该引理扩展到一般多边形,所描述的画廊分解算法可被配置通过首先确定边界凹面来生成结构化网格。可以比可对应于预期特征尺寸的用户可配置元素尺寸稍小的尺寸将输入面首先边界离散化。这意味着如果在面边界上存在比用户可配置元素尺寸小得多的特征,则算法可被配置忽略它们。

[0089] 另外,在输入面(在3D UV空间中)的每个顶点i处,计算在顶点处的结点和其前导

和尾随的相邻结点之间的夹角 Φ_i 。基于该角度,遵循以下规则将顶点标示为凹面或反射点:

[0090] $\varphi_i > 270^\circ - \theta_t$

[0091] 其中 θ_t 是可变角度公差(通常为 60°)。

[0092] 为了说明的目的,在图20中示出缺口图2000,其针对输入面2006描绘反射顶点(VR)2002和它们的配对顶点(VP)2004之间的关系。为了形成缺口图,首先以元素尺寸将面边界离散化,并且首先将所有的反射顶点正交投影到其最近的相邻边缘。

[0093] 画廊分解算法可被配置接下来在每个反射顶点(VR)和其配对顶点(VP)之间建立关系。反射顶点中的一些可为虚拟的(VR_v),并且通常大部分的配对顶点为虚拟的(VP_v)。当所有的反射顶点(VR)都与它们的配对顶点(VP)联接时,便完成了缺口图(ND),如图20所示。在数学符号中,可将缺口图(ND)表示为n个反射顶点和它们的正交投影配对顶点之间联接的集合,该集合由以下给出:

[0094] $ND = \bigcup_{i=1}^n (V_{ri} \mapsto V_{pi})$

[0095] 所描述的画廊分解算法可被配置接下来使用分割线标准在边界上的许多连接可能性当中从每个反射顶点确定最佳分割线。一旦将分割线安置在适当位置,面就被分解成最优数目的凸子区域。图21中示出3D空间中基于画廊分解的具有9个反射顶点的单个回路输入面的最终结果(网格)的示例2100。

[0096] 在进一步的示例实施例中,多块分解器组件还可对复杂输入面使用基于可视性的分解算法。可将基于可视性的分解算法应用于单个回路和多回路面,以附添/引入附加的分割线,这些分割线有助于将多个凸区域拆解成更小的四方形形状区以用于更好地限定结构化网格生成。具体地,如先前所讨论的,对于被分类为多回路非环面和非圆柱形的输入面(例如,M0类型输入面),多块分解器组件的示例实施例可选择并且使用组合的基于中轴线的分解算法和基于可视性的分解算法。

[0097] 所描述的示例性基于可视性的分解算法不需要德洛内网格,并且取决于等于全局尺寸的边界离散化。基于可视性的分解算法确定边界点相对于面边界上的其它点的“可视性”,如图22的示例2200中所示。凹形或反射顶点j 2202具有将面轮廓划分成3个区-D1 2208、D2 2210和D3 2212的两条延伸线j1 2204和jr 2206。线j1左边的面区部是D1,线jr右边的面区部是D3,并且之间的区是D2。通常,区D2中的所有点对于点j是可见的。因此,通过针对如jk 2214函数表示为以下的分割线评估每个可见点:

[0098] $\Phi_{jk} = f_{sym}(W_H H + W_L L)$

[0099] 所有有效的可见分割线候选的函数的最小值给出最佳分割线。归一化的长度参数或长度成本函数L由 $L = l_{jk}/l_d$ 给出;其中 l_{jk} 是分割线jk(如图22所示)的长度,并且 l_d 是特征长度,其是界定网格区部的矩形框的对角线 $B = [(x_{min}, y_{min}), (x_{max}, y_{max})]$ 。恒定角度和长度权重因子是启发式形成的,并且可对应于例如 $W_H = 1.0$ 并且 $W_L = 5.0$ 。

[0100] 此外, f_{sym} 是分割线对称权重因子,其被定义为:对于对称分割线, $f_{sym} = 0.8$;并且对于非对称线, $f_{sym} = 1.0$ 。进一步地,H或分割线角度总和项被表示为:

4

$$[0101] \quad H = \sum_{i=1} W_{ai} h_i$$

[0102] 此处,对于大多数角度,角度权重因子 W_{ai} 通常可为1.0,但是可经计算给予最接近90度的分割线更多的权重。例如,当分割线接近90度时,可如下将它们改变为0.7和1.3:当 $h_1 < 0.033, h_2 < 0.033, h_3 < 1.0$ 并且 $h_4 < 1.0$ 时,则 $W_{a1} = W_{a2} = 1.3$ 并且 $W_{a3} = W_{a4} = 0.7$;并且当 $h_1 < 1.0, h_2 < 1.0, h_3 < 0.033, h_4 < 0.033$ 时,则 $W_{a1} = W_{a2} = 0.7$ 并且 $W_{a3} = W_{a4} = 1.3$ 。

[0103] 此处,角度成本函数 h_i 可以这样的方式来计算:角度越好,值越低。对于四方形,该值在90度时接近0。分割线成角度并且在角度低于60度时非常高。它们可被表示为:

$$[0104] \quad h_i = 0.5 [\{ \cos^2 \varphi_i \cdot f_a \cdot (1 - \cos^2 \varphi_i) - 1 \} + 1] \quad | \quad 170^\circ \geq \varphi_i \geq 30^\circ$$

$$[0105] \quad h_i = 1 \quad | \quad \varphi_i < 30^\circ; \quad \varphi_i > 170^\circ$$

[0106] 其中,在图22中示出分割线2214周围的分割角 φ_i 2216,并且可将角余弦因子 f_a 写为 $f_a = 4/\cos^2 \varphi_{min}$ 。

[0107] 通过交替或对应角度的接近性来测量分割线的对称性。例如,对称条件可对应于:

$$[0108] \quad \varphi_1 \approx \varphi_3 \quad \varphi_2 \approx \varphi_4$$

[0109] 或

$$[0110] \quad \varphi_1 \approx \varphi_4 \quad \varphi_2 \approx \varphi_3$$

[0111] 分割线函数的该示例性公式突出了正交分割、分解的对称性和点接近性(分割线的短小)。如图22所示,在该示例中,边界离散化的面的最佳分割线2214(在该情况下为jk)具有所有可能的可见候选对象的最小分割线函数值。

[0112] 所描述的基于可视性的分解算法可被配置使得每当发生面轮廓的分割时,面轮廓回路被分割成在分割线右侧的子回路和在分割线左侧的子回路。可继续递归分割,直到产生的子轮廓是“四方形形状”。示例性的多块分解器组件可使用四方形形状检查算法来测试子轮廓,并且确定子轮廓的“四方形形状”何时足够,以便结束对输入面的该部分的递归切割。

[0113] 图23示出其中已经通过所描述的基于可视性的分解算法将输入面2302分割成四区域的示例2300。在该示例中,利用基于可视性的多分块算法将具有两个内部回路2304的面分解成11个虚拟四方形形状的面。图24示出在已经将由基于可视性的分解算法产生的11个块网格化之后的2D空间中的该输入面2302的示例2400。

[0114] 返回参照图3,如先前所讨论的,网格组件110的多块/虚拟拓扑引擎136还可包含处理由多块分解器组件304输出的数据的拓扑构建器组件306。这样的数据可用于确定限定细分输入面的块的虚拟边缘候选(即分割线)。数据可包含可由拓扑构建器组件使用以确定虚拟边缘候选和对应面的关于输入面的2D表示的顶点关系。

[0115] 例如,拓扑构建器组件可被配置为来自本文描述的多分块分解算法中任一种算法的输出确定缺口图(ND)。图25中示出用于该目的的这样的缺口图2500的示例。拓扑构建器组件可确定联接的顶点对(e) 2504、2506之间的虚拟边缘(ve) 2502。给定ND、虚拟边缘(ve)、虚拟顶点(e)和原始面几何,拓扑构建器组件可构造虚拟面(Vf) 2508。在此时可由拓扑构建

器组件删除面边界上的所有未使用、临时生成的结点。

[0116] 因此,图25中的所确定的ND可对应于在2D参数空间中的针对输入面的虚拟面分解之后所得的虚拟拓扑的示例。应该了解,所描述的拓扑构建器组件可是极其轻质的,包含最少的数据(例如,主要为指针/对结点/顶点/边缘的引用),并且可在网格化组件的参数空间中运行。

[0117] 返回参照图3,如先前所讨论的,网格组件110还可包含最终网格组件308,该最终网格组件被配置在由拓扑构建器组件306生成的虚拟面中的每个虚拟面上生成最终网格。当在虚拟面上生成最终网格时,所有虚拟面的结点/元素与输入面的原始母本面/边缘相关联,并且将虚拟拓扑废弃。

[0118] 在示例实施例中,首先由最终网格组件308对虚拟面实行超限网格化。在该示例中,这样的超限网格化可在大多数虚拟面上成功,因为它们是4边的。可通过细分/铺砌网格化算法将剩余的不可映射网格化的虚拟面网格化。作为所描述的多块分解过程的结果,所得的最终网格可比由细分/铺砌算法在未分解的面上能够产生的网格更加结构化。

[0119] 在示例实施例中,工程师可将使用本文描述的网格数据实行的模拟结果用于(经由CAD软件)修改对象模型,以便优化结构以满足期望的性能标准(例如,更安全的汽车)。可将对应于修改的结构的最终网格和/或CAD数据和/或产品数据存储在数据储存器138(诸如CAD文件和/或PLM数据库)中。然后,所描述的应用软件组件和/或其它软件应用程序可基于在CAD数据和/或产品数据中储存的修改结构实行各种功能。

[0120] 这样的功能可包含生成(基于CAD数据和/或产品数据)工程图和/或指定可用于构建结构的具体组件(以及其数量)的材料清单(BOM)。这样的工程图和/或BOM可经由打印机在纸上打印、以电子形式(诸如Microsoft Excel文件或Acrobat PDF文件)生成、通过显示装置显示、在电子邮件中传送、储存在数据储存器中,或否则以能够由个人和/或机器使用以构建与设计的结构对应的产品的形式来生成。进一步地,应当了解,机器(诸如3D打印机)可使用表示(在鉴于模拟结果通过CAD软件修改之前或之后的)对象模型的数据,以从对象数据产生物理结构(例如,零件)。

[0121] 现在参照图26,示出和描述了各种示例方法。尽管将方法描述为按序列执行的一系列动作,但应该理解,方法可不受序列的顺序限制。例如,一些动作可以与本文描述的顺序不同的顺序进行。另外,动作可与另一动作同时进行。此外,在一些情况下,不是所有动作都是实施本文描述的方法所需要的。

[0122] 重要的是应注意,尽管本公开包含在全功能系统和/或一系列动作的背景下的描述,但是本领域的技术人员将了解,本公开的机制和/或所描述的动作的至少一部分能够以计算机可执行指令的形式来分布,该计算机可执行指令包含在呈各种形式中的任一种的非暂时性机器可使用、计算机可使用或计算机可读介质中,并且无论用于实际实行分布的指令或信号承载介质或存储介质的具体类型如何,本公开都同样地适用。非暂时性机器可使用/可读或计算机可使用/可读介质的示例包括:ROM、EPROM、磁带、软盘、硬盘驱动器、SSD、闪速存储器、CD、DVD和蓝光盘。计算机可执行指令可包括例程、子例程、程序、应用程序、模块、库、执行线程和/或类似的。更进一步地,方法动作的结果可存储在计算机可读介质中、在显示装置上显示等。

[0123] 现在参照图26,其示出促进生成用于对象模型的网格的方法2600。方法可从2602

开始,并且方法可包含通过操作至少一个处理器实行的多个动作。这些动作可包含至少部分地基于输入面所包括的回路的数目,对结构的三维(3D)对象模型的输入面的类型进行分类的动作2604。另外,方法可包含基于输入面的分类的类型,从处理器被配置使用的多种多块分解算法当中选择多块分解算法的动作2606。进一步地,方法可包含使用选择的多块分解算法来确定多个块在输入面上的位置的动作2608。另外,方法可包含将每个块网格化,以产生限定将输入面划分为多个四边形元素的网格的网格数据的动作2610。方法可在2612处结束。

[0124] 应该了解,方法2600可包含先前关于系统100讨论的其它动作和特征。例如,方法可包含生成输入面的平坦化二维(2D)表示。对输入面的类型进行分类可基于输入面的2D表示。此外,使用选择的多块分解算法来确定多个块在输入面上的位置可基于输入面的2D表示来实行。

[0125] 另外,针对多个输入面对输入面的类型进行分类的动作2604可包含确定:输入面中的至少一个输入面是否包括单个回路或多个回路;输入面中的至少一个输入面是否包括圆柱形表面;输入面中的至少一个输入面是否包括中轴线珠面;以及输入面中的至少一个输入面是否包括中轴线环面。

[0126] 进一步地,针对多个输入面选择和使用多块分解算法的动作2606、2608可包含:选择和使用笛卡尔板分解算法以将具有圆柱形表面的输入面中的至少一个输入面细分成平行于圆柱形表面的轴线的多个平行板形块。

[0127] 此外,针对多个输入面选择和使用多块分解算法的动作2606、2608可包含选择和使用至少一种中轴线分解算法,其包含选择和使用以下中的至少一种:基于中轴线的珠面分解算法;中轴线珠面类型分解算法;和/或基于中轴线和基于可视性的组合分解算法。基于中轴线的珠面分解算法可用于将具有中轴线珠面类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面细分成三个块,该三个块包含在珠面的中间的、侧面与两个弯曲块帽连接的矩形块。中轴线珠面类型分解算法可用于将具有中轴线环面类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面细分为包含多个拱形块的多个块。此外,基于确定输入面中的至少一个输入面不是圆柱形类型输入面或中轴线环面类型输入面,基于中轴线和基于可视性的组合分解算法可用于细分具有多回路类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面。

[0128] 进一步地,动作2606、2608可包含基于确定输入面中的至少一个输入面不是圆柱形类型输入面或中轴线珠面类型输入面,选择和使用画廊分解算法以细分具有单个回路类型输入面分类的输入面中的至少一个输入面。

[0129] 在该描述的方法中,产生的网格可包含内部结点,其中大部分内部结点的价为四,并且其中网格的大部分四边形元素具有四个在80°至100°点之间的夹角。

[0130] 此外,所描述的方法可包含至少部分地基于网格数据和表示通过操作至少一个输入装置提供的施加于结构的负载的数据,来确定对结构的物理效果的动作。另外,方法可包含通过显示装置生成至少一个图形用户界面(GUI)的动作,该至少一个GUI显示对象模型的视觉表示、用于对象模型的网格以及确定的对结构的物理效果。进一步地,方法可包含响应于通过至少一个输入装置的其它输入,修改对象模型并且将表示修改的对象模型的数据储存在至少一个数据储存器中的动作。

[0131] 如先前所讨论的,可将基于(由本文描述的网格产生的)模拟结果对结构的对象模

型的修改作为CAD数据和/或产品数据存留到CAD文件和/或PLM数据储存器。然后,可基于CAD数据或产品数据实行与生成工程图和/或BOM相关联的动作。进一步地,方法可包含个人基于工程图和/或BOM手动构建结构。进一步地,这样的动作可包含机器(诸如3D打印机)基于CAD数据构建结构。

[0132] 如先前所讨论的,可由一个或多个处理器实行(除诸如手动构建结构的动作的任何所描述的手动动作以外)与这些方法相关联的动作。一个或多个这样的处理器可被包含在例如执行可操作以使这些动作由一个或多个处理器来实行的软件组件的一个或多个数据处理系统中。在示例实施例中,这样的软件组件可包括对应于例程、子例程、程序、应用程序、模块、库、执行线程等的计算机可执行指令。进一步地,应当了解,软件组件可被写入软件环境/语言/框架(诸如Java、JavaScript、Python、C、C#、C++,或能够产生被配置实行本文描述的动作和特征的组件和图形用户界面的任何其它软件工具)中和/或由该软件环境/语言/框架产生。

[0133] 图27示出数据处理系统2700(也被称为计算机系统)的框图,其中例如,可将实施例实施为CAE CAD、PLM和/或由软件或以其它方式可操作地配置的其它系统的一部分,以执行本文描述的过程。所描绘的数据处理系统包含可连接到一个或多个桥/控制器/总线2704(例如,北桥、南桥)的至少一个处理器2702(例如,CPU)。例如,总线2704中的一种可包含一个或多个I/O总线,诸如PCI Express总线。在所描绘的示例中也连接到各种总线的可包含主存储器2706(RAM)和图形控制器2708。图形控制器2708可连接到一个或多个显示装置2710。还应该注意,在一些实施例中,可将一个或多个控制器(例如,图形、南桥)与CPU集成(在相同的芯片或管芯上)。CPU架构的示例包括IA-32、x86-64和ARM处理器架构。

[0134] 连接到一个或多个总线的其它外围设备可包含可操作以连接到局域网(LAN)、广域网(WAN)、蜂窝网络和/或其它有线或无线网络2714的通信控制器2712(以太网控制器、WiFi控制器、蜂窝控制器)或通信装备。

[0135] 连接到各种总线的其它组件可包含一种或多种I/O控制器2716,诸如USB控制器、蓝牙控制器和/或专用音频控制器(连接到扬声器和/或麦克风)。还应当了解,包含以下的各种外围设备可连接到USB控制器(经由各种USB端口):输入装置2718(例如,键盘、鼠标、触摸屏、跟踪球、游戏手柄、相机、麦克风、扫描仪、运动感测装置)、输出装置2720(例如,打印机、扬声器),或可操作以提供输入或接收来自数据处理系统的输出的任何其它类型的装置。进一步地,应该了解,被称为输入装置或输出装置的许多装置可提供输入并且接收数据处理系统的消息的输出。进一步地,应该了解,连接到I/O控制器2716的其它外围硬件2722可包括被配置与数据处理系统通信的任何类型的装置、机器或组件。

[0136] 连接到各种总线的附加组件可包括一种或多种存储控制器2724(例如,SATA)。存储控制器可连接到存储装置2726,诸如一种或多种存储驱动器和/或可为任何合适的非暂时性机器可使用或机器可读存储介质的任何相关联的可移除介质。示例包括非易失性装置、易失性装置、只读装置、可写装置、ROM、EPROM、磁带存储设备、软盘驱动器、硬盘驱动器、固态驱动器(SSD)、闪速存储器、光盘驱动器(CD、DVD、蓝光光盘)以及其它已知的光学、电气或磁性存储装置驱动器和/或计算机介质。此外,在一些示例中,存储装置(诸如SSD)可直接连接到I/O总线2704,诸如PCI Express总线。

[0137] 根据本公开的实施例的数据处理系统可包括操作系统2728、软件/固件2730和数

据储存器2732(其可存储在存储装置2726和/或存储器2706上)。这样的操作系统可采用命令行界面(CLI)外壳和/或图形用户界面(GUI)外壳。GUI外壳允许多个显示窗口同时在图形用户界面中呈现,其中每个显示窗口向不同应用或相同应用的不同情况提供界面。图形用户界面中的光标或指针可由用户通过诸如鼠标或触摸屏的指点装置来操纵。可改变光标/指针的区位和/或可生成诸如点击鼠标按钮或触摸触摸屏的事件以致动期望的响应。可在数据处理系统中使用的操作系统的示例可包含Microsoft Windows、Linux、UNIX、iOS和Android操作系统。此外,数据存储库的示例包括数据文件、数据表、关系数据库(例如,Oracle、Microsoft SQL Server)、数据库服务器或能够存储可由处理器检索的数据的任何其它结构和/或装置。

[0138] 通信控制器2712可连接到网络2714(不是数据处理系统2700的部分),如本领域的技术人员已知的,该网络2714可为任何公共或专用数据处理系统网络或网络的组合,包括因特网。数据处理系统2700可通过网络2714与一个或多个其它数据处理系统(诸如服务器2734(也不是数据处理系统2700的部分))通信。然而,替代数据处理系统可对应于作为分布式系统的部分而实施的多个数据处理系统,在该分布式系统中,与若干数据处理系统相关联的处理器可通过一个或多个网络连接进行通信,并且可共同地执行所描述的如由单个数据处理系统执行的任务。因此,应该理解,在提及数据处理系统时,这样的系统可跨以经由网络彼此进行通信的分布式系统组织的若干数据处理系统来实施。

[0139] 进一步地,术语“控制器”意指控制至少一种操作的任何装置、系统或其部分,无论这样的装置是以硬件、固件、软件还是以硬件、固件、软件中的至少两者的一些组合来实施。应该注意,不管是本地地还是远程地,与任何具体控制器相关联的功能可是集中式的或分布式的。

[0140] 另外,应该了解,可将数据处理系统实施为虚拟机架构或云环境中的虚拟机。例如,处理器2702和相关联的组件可对应于在一个或多个服务器的虚拟机环境中执行的虚拟机。虚拟机架构的示例包括VMware ESCi、Microsoft Hyper-V、Xen和KVM。

[0141] 本领域的技术人员将了解,针对数据处理系统描绘的硬件可针对具体实施而改变。例如,该示例中的数据处理系统2700可对应于计算机、工作站和/或服务器。然而,应该了解,数据处理系统的替代实施例可被配置具有诸如呈移动电话、平板电脑、控制器板或任何其它系统的形式的对应的或替代的组件,该任何其它系统可操作以处理数据并且实行本文描述的与本文讨论的数据处理系统、计算机、处理器和/或控制器的操作相关联的功能和特征。所描绘的示例仅出于解释的目的而提供,并且不意图暗示对本公开的架构限制。

[0142] 如本文所使用的,术语“组件”和“系统”旨在涵盖硬件、软件或硬件和软件的组合。因此,例如,系统或组件可是进程、在处理器上执行的进程或处理器。另外,组件或系统可位于单个装置上或分布在若干装置上。

[0143] 此外,如本文所使用的,处理器对应于被配置通过硬件电路、软件和/或固件来处理数据的任何电子装置。例如,本文描述的处理器可对应于微处理器、CPU、FPGA、ASIC或能够在数据处理系统中处理数据的任何其它集成电路(IC)或其它类型的电路中的一个或多个(或组合),该数据处理系统可具有控制器板、计算机、服务器、移动电话和/或任何其它类型的电子装置的形式。

[0144] 本领域的技术人员将认识到,为了简单和清楚起见,本文不描绘或描述适用于与

本公开一起使用的所有数据处理系统的完整结构和操作。相反，仅描绘和描述如对于本公开独特的或对于理解本公开是必需的数据处理系统的那些部分。数据处理系统2700的构造和操作的剩余部分可与本领域中已知的各种当前的实施和实践中的任一种一致。

[0145] 尽管已经详细描述了本公开的示例性实施例，但是本领域的技术人员将理解，可在不脱离本公开在其最广义的形式下的精神和范围的情况下进行本文公开的各种改变、替换、变化和改进。

[0146] 本申请中的描述都不应被理解为暗示任何具体的元件、步骤、动作或功能是必须被包括在权利要求范围内的必要元素：受专利保护的主题的范围仅由允许的权利要求限定。此外，这些权利要求中的任一项都不旨在援引构件加功能权利要求构造，除非确切的词“用于...的构件”后面是分词。

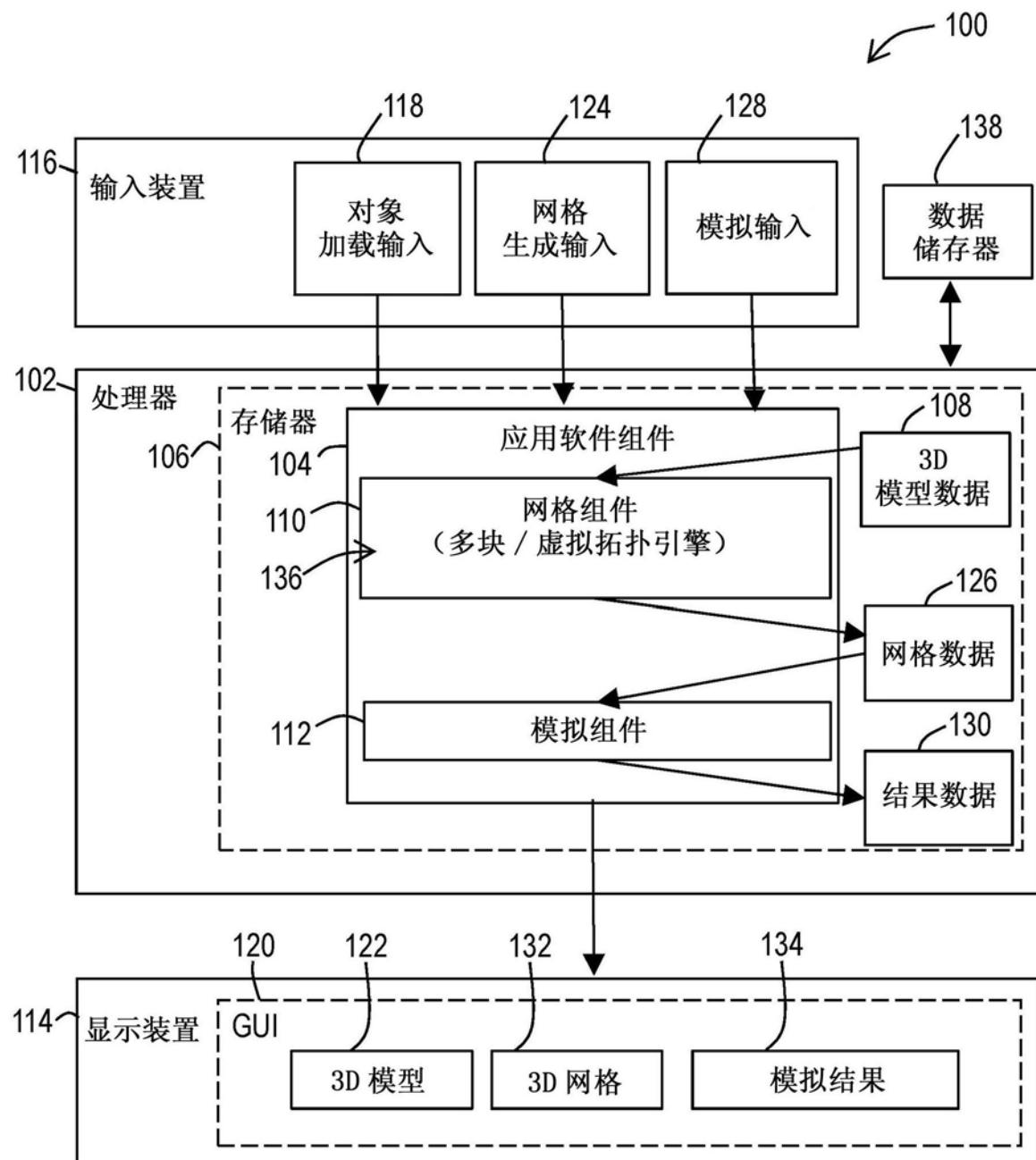


图1

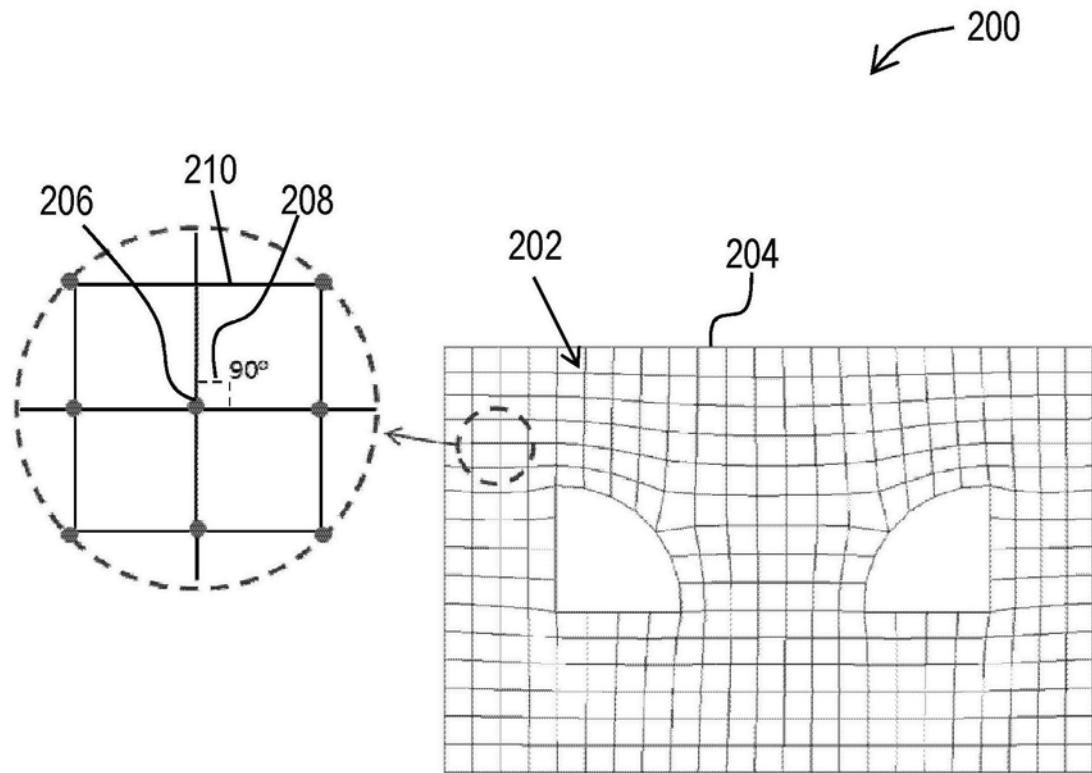


图2

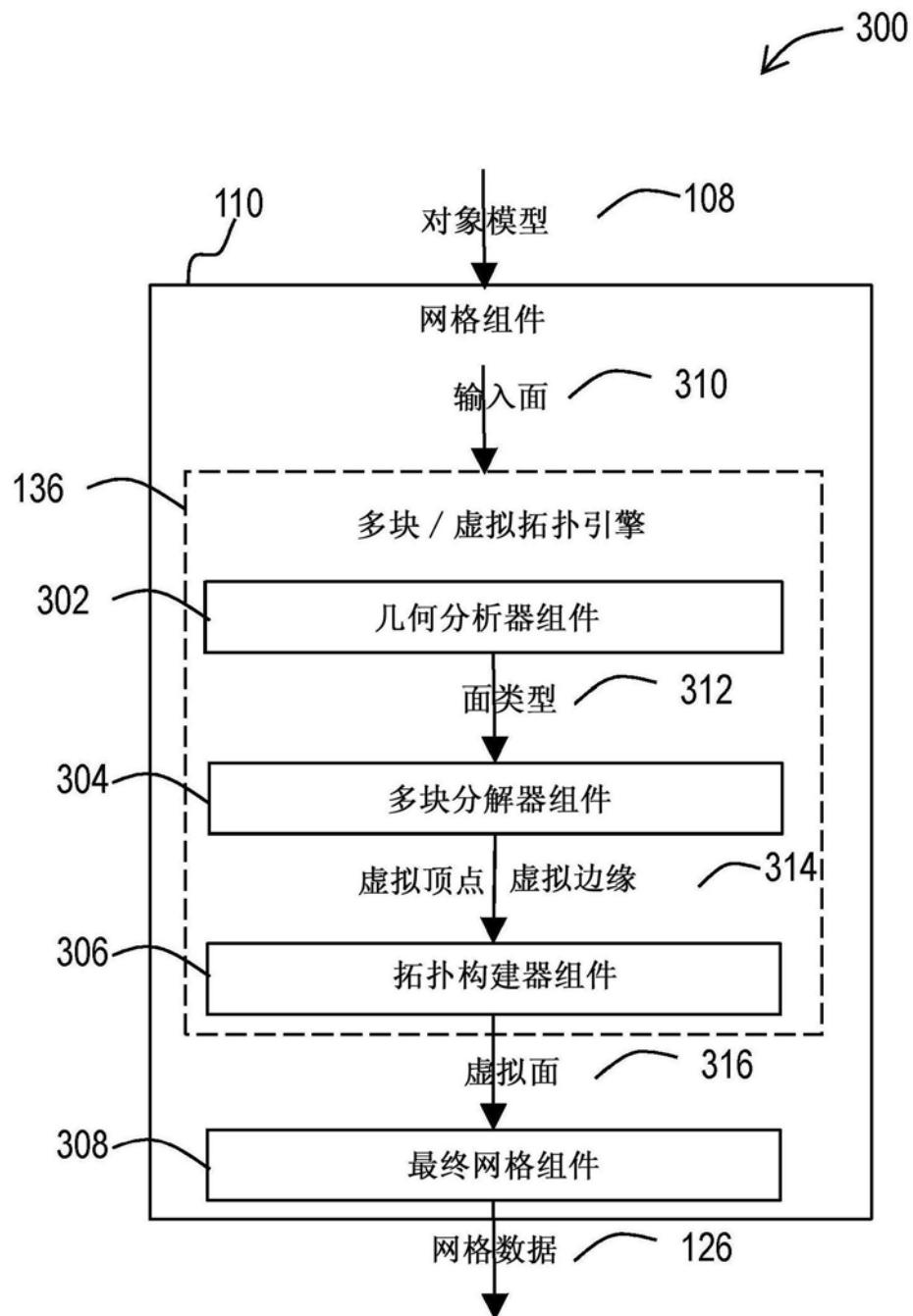


图3

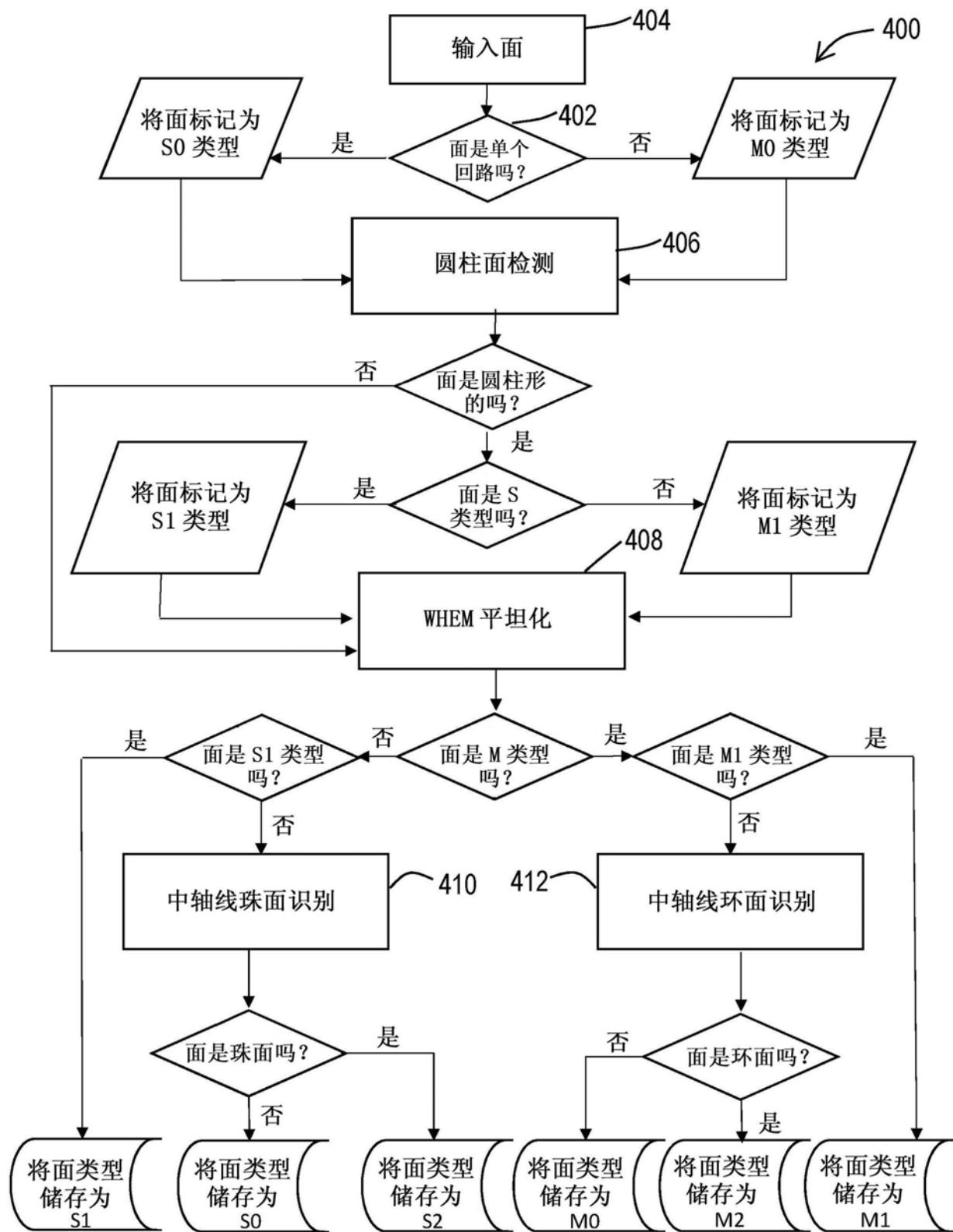


图4

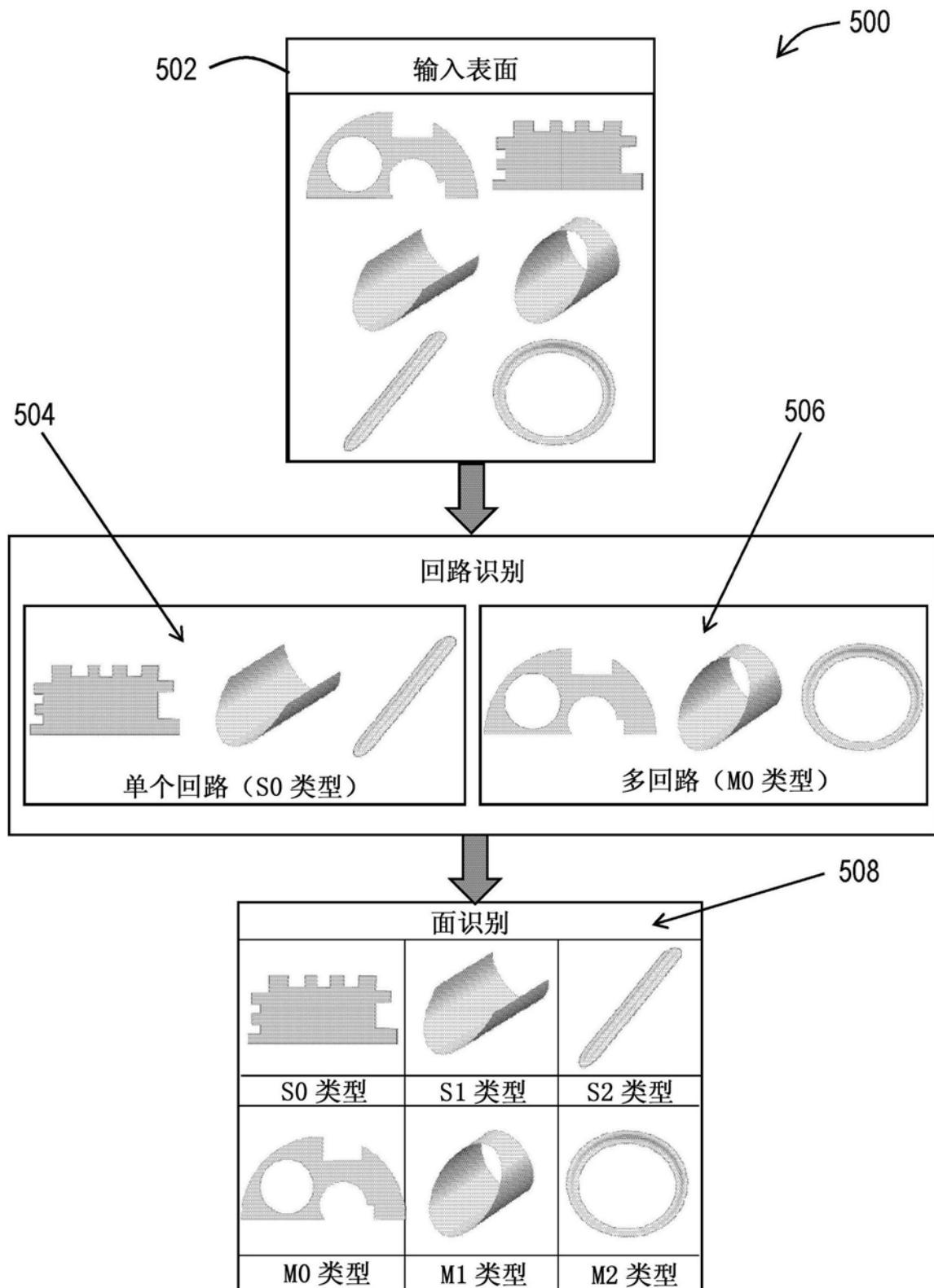


图5

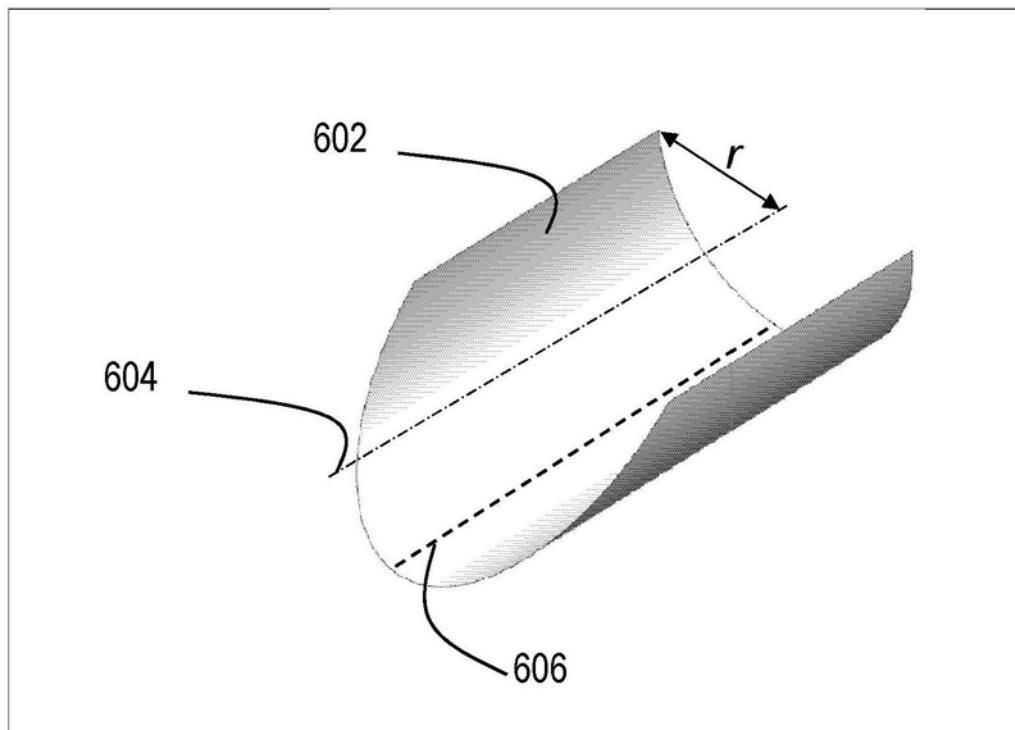


图6

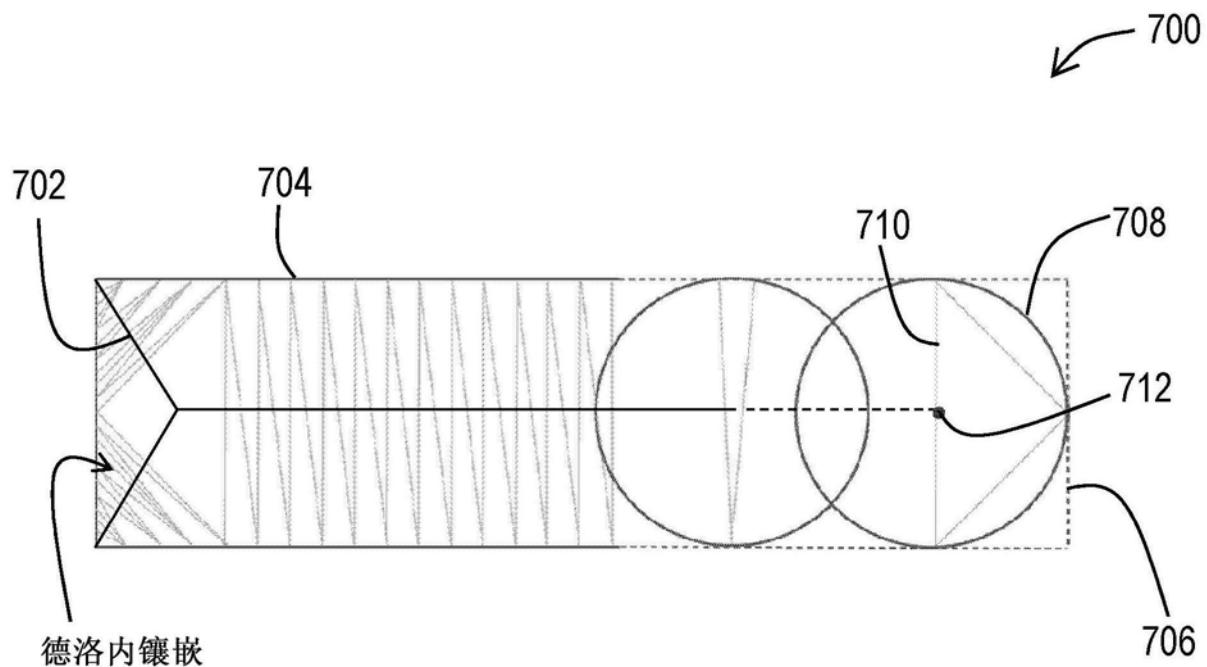


图7

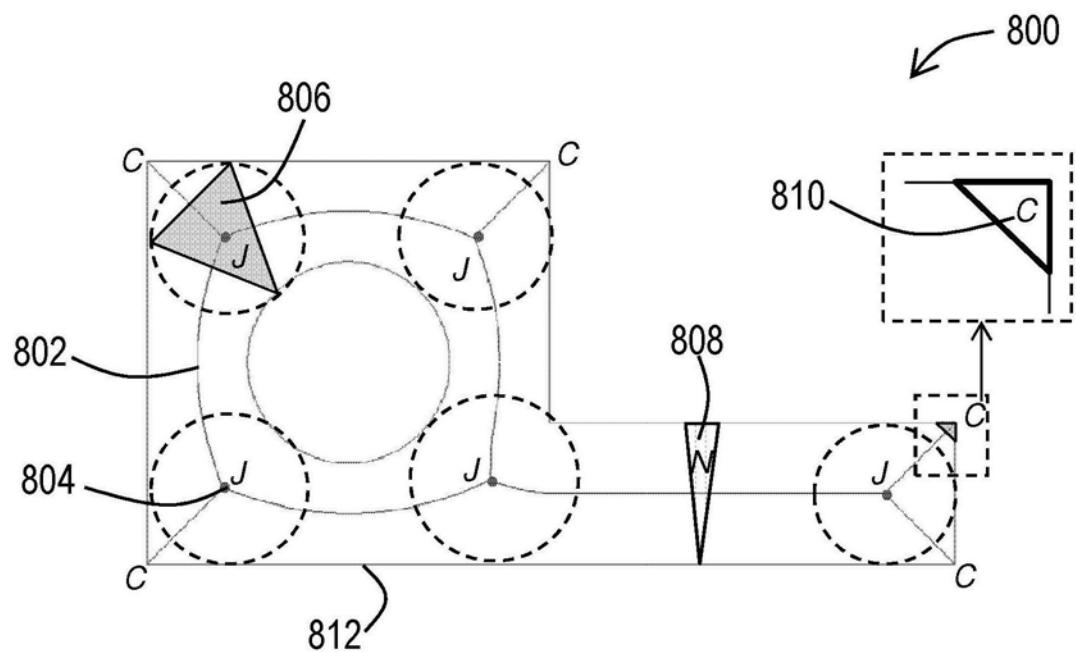


图8

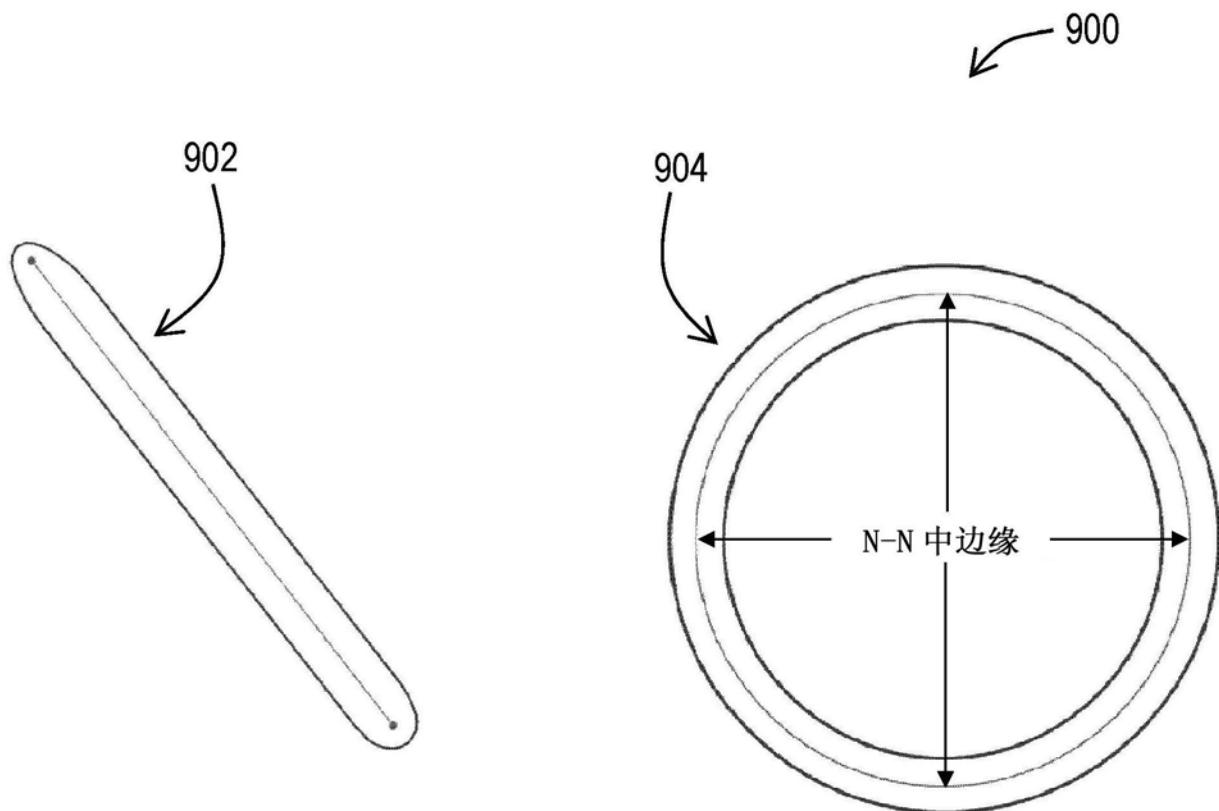


图9

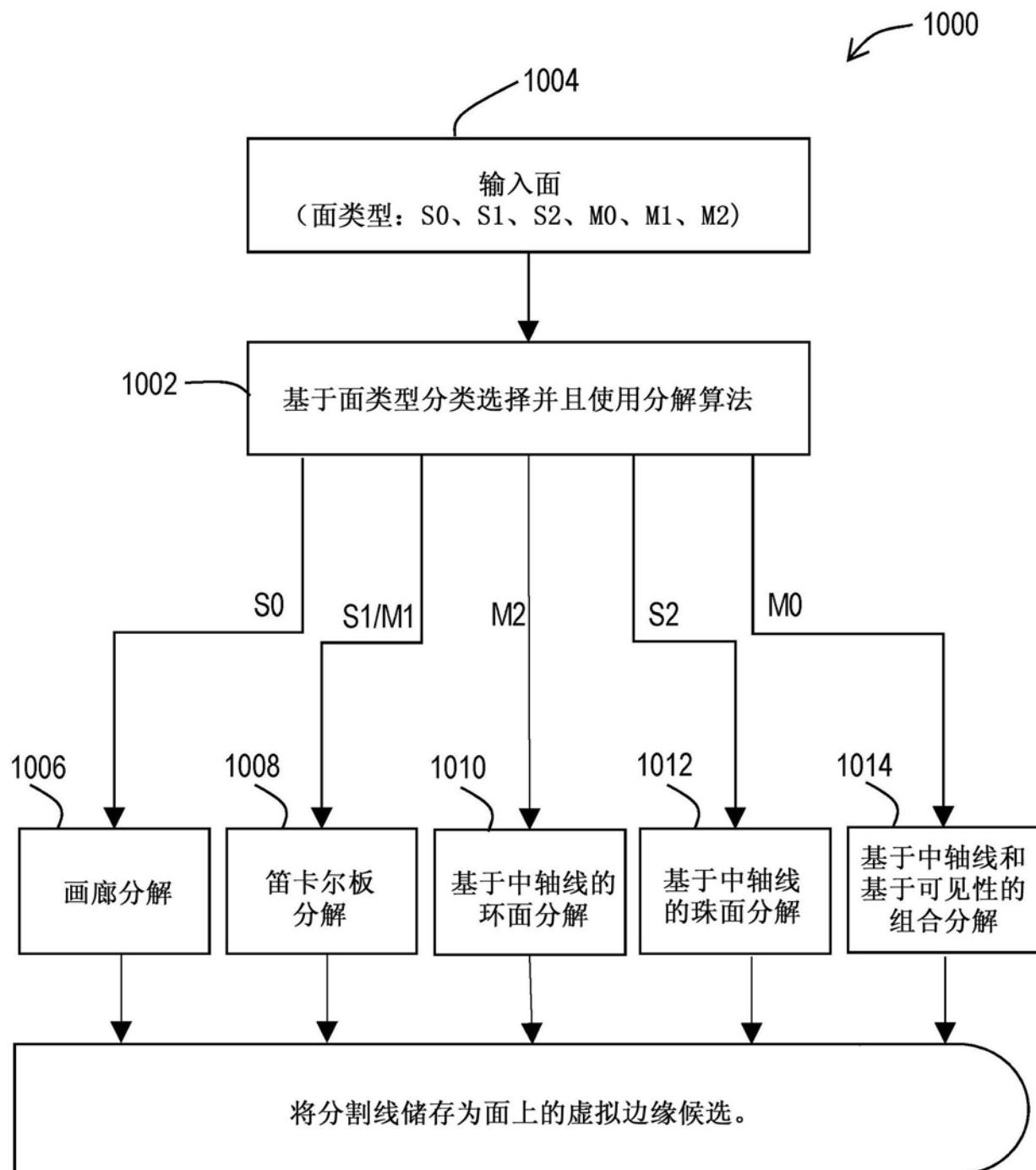


图10

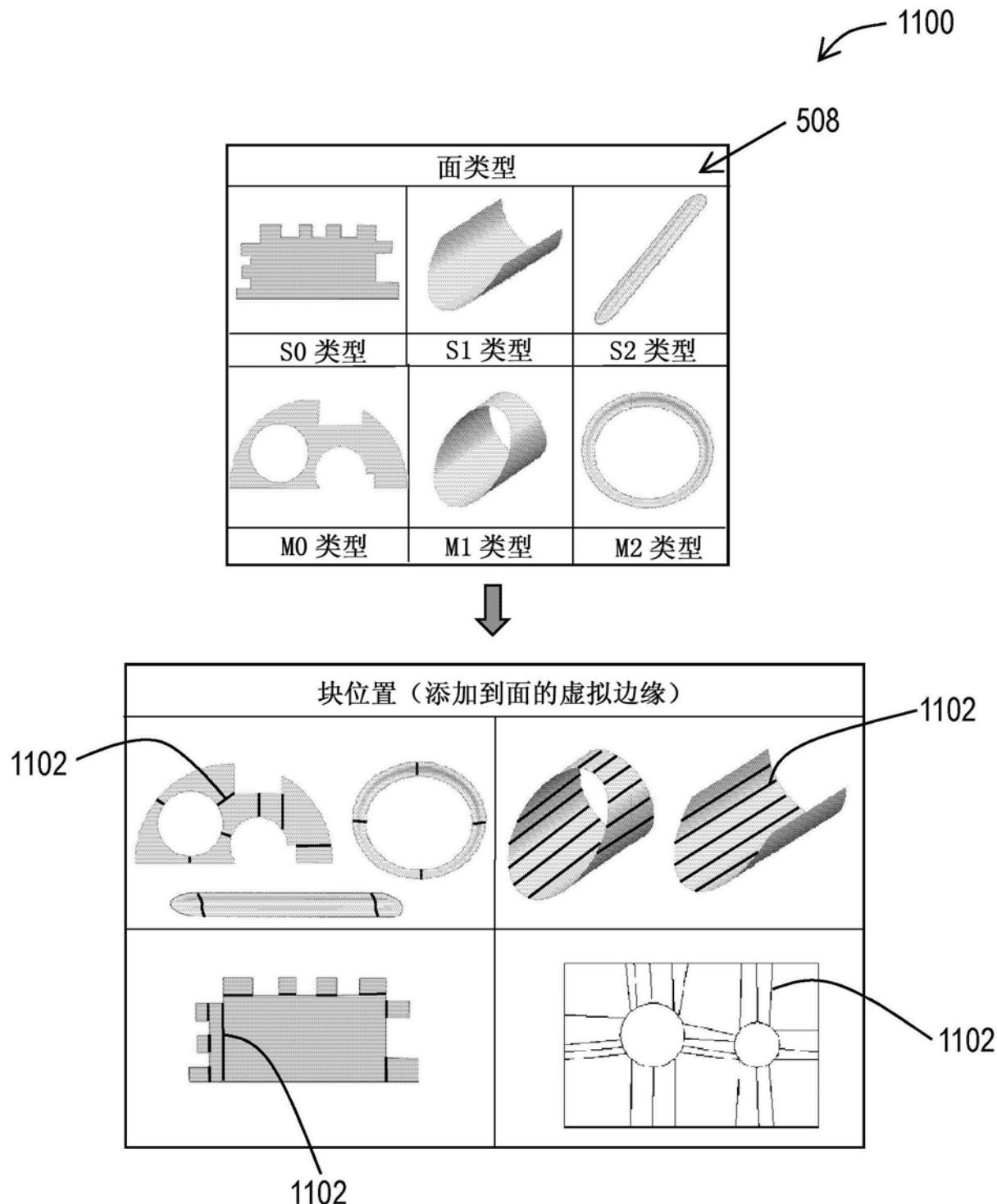
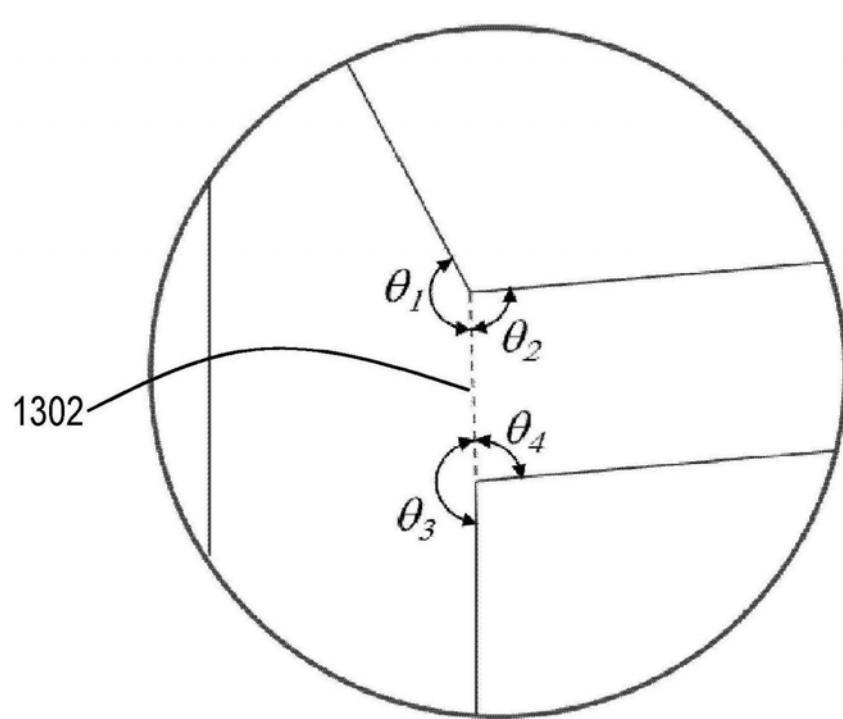
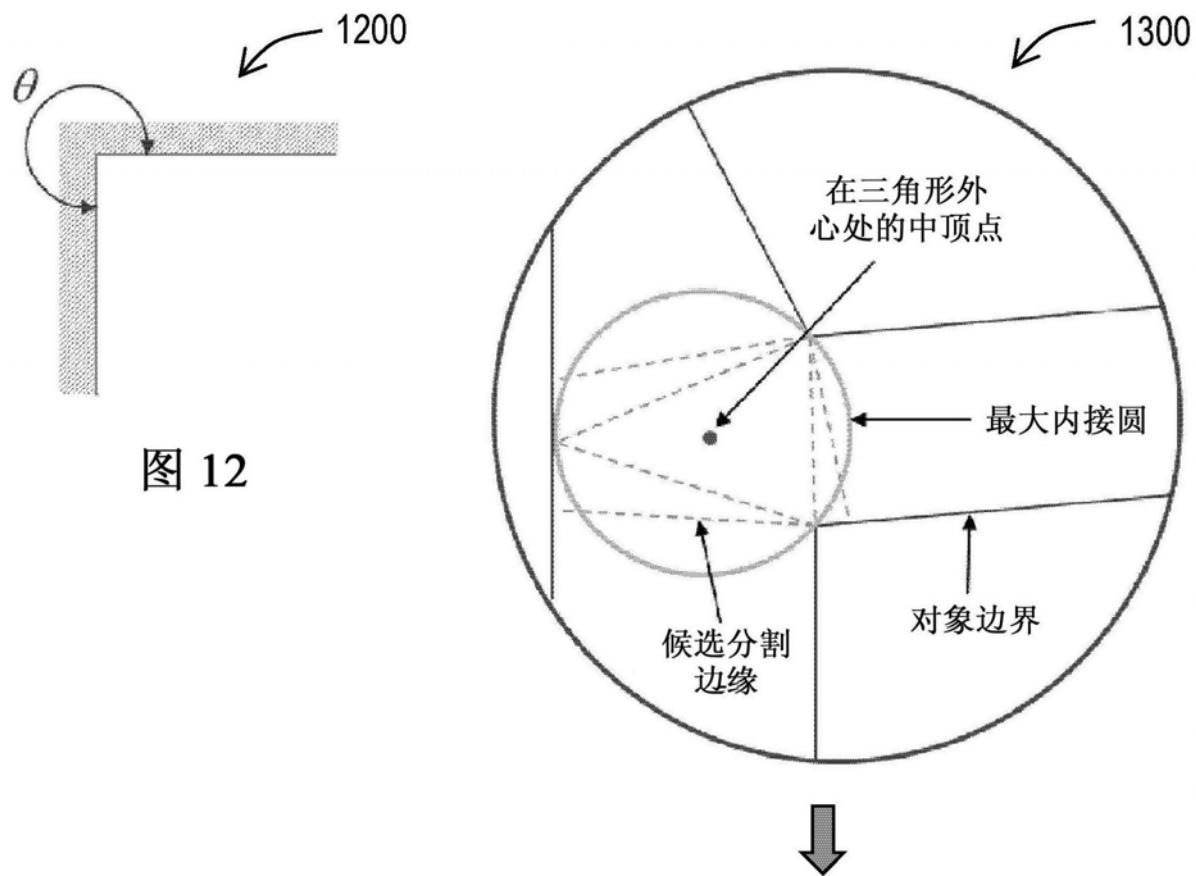


图11



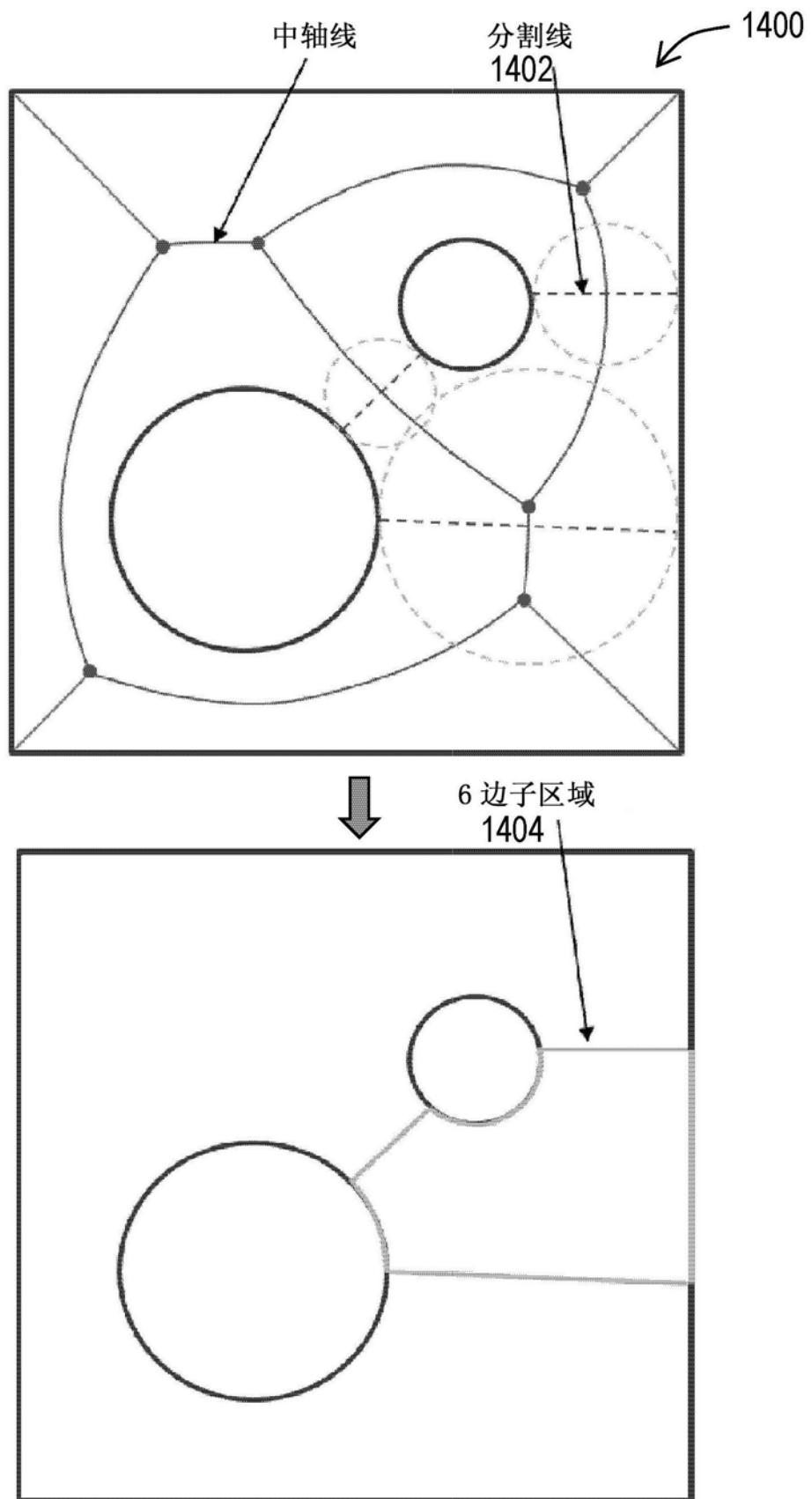


图14

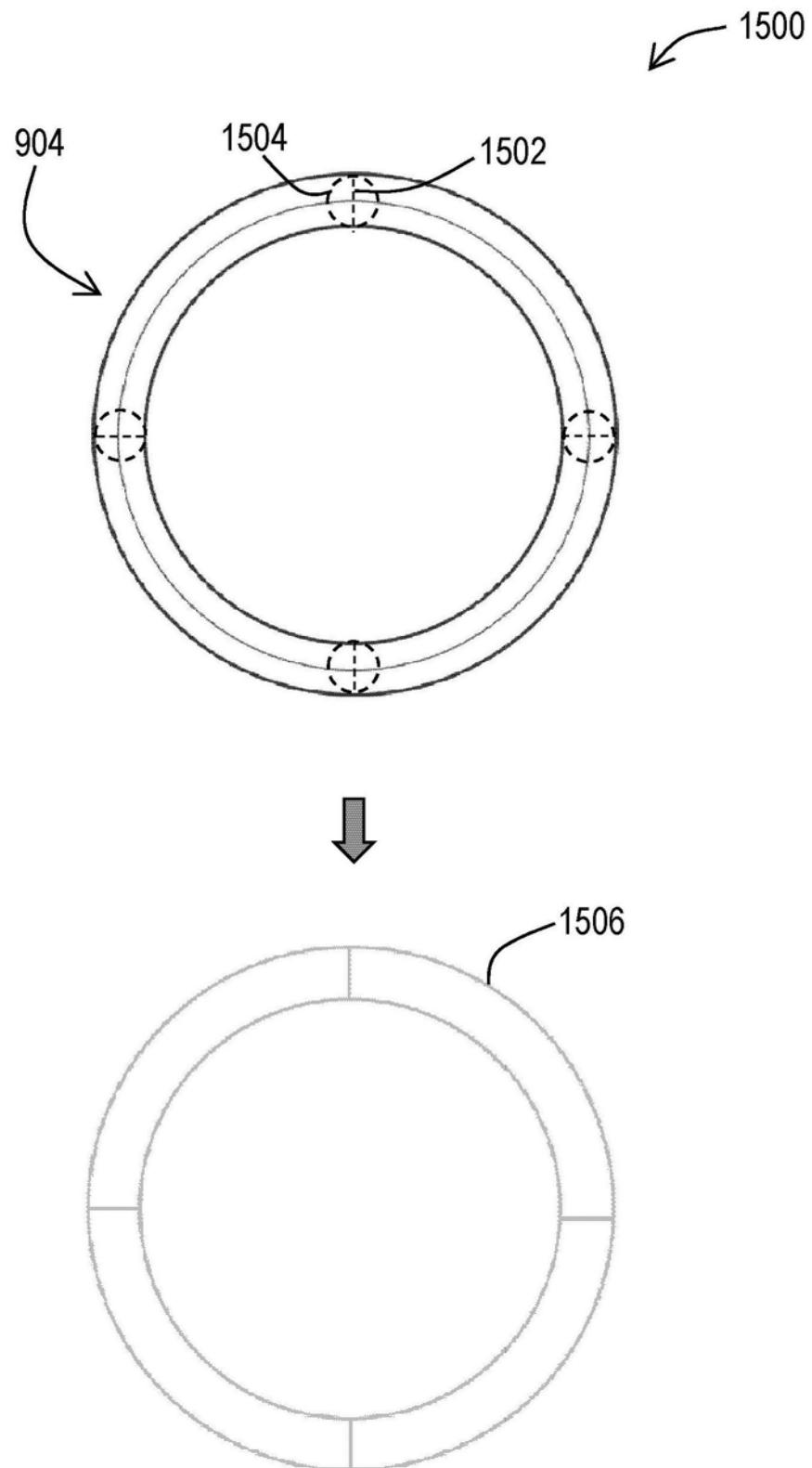


图15

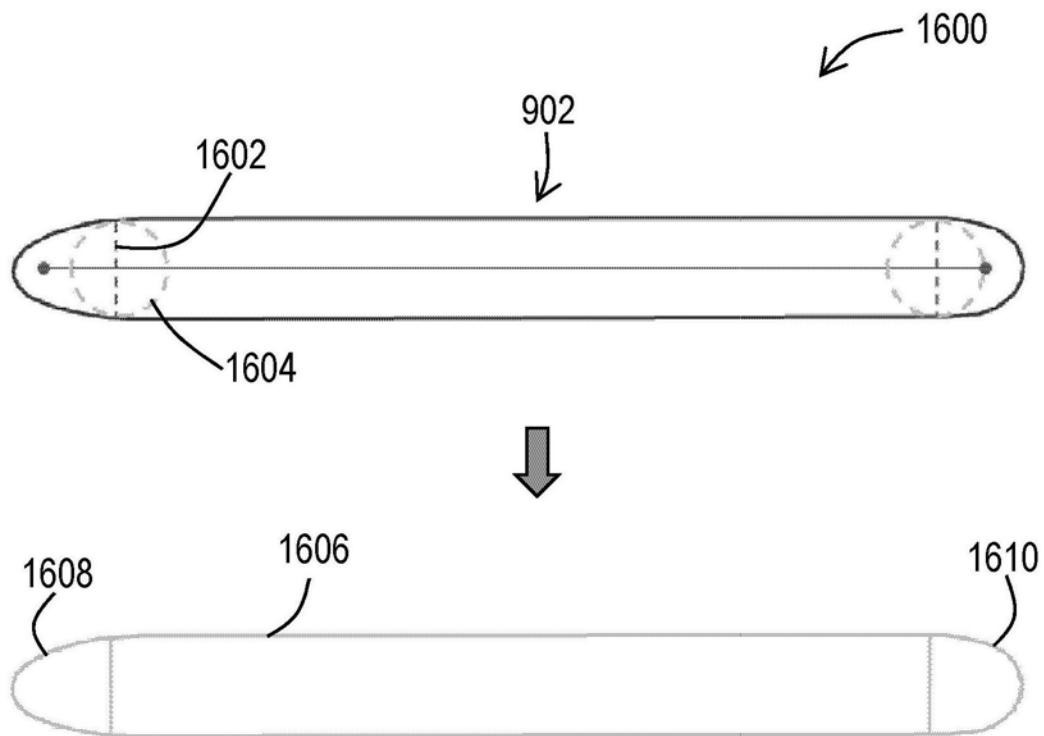


图16

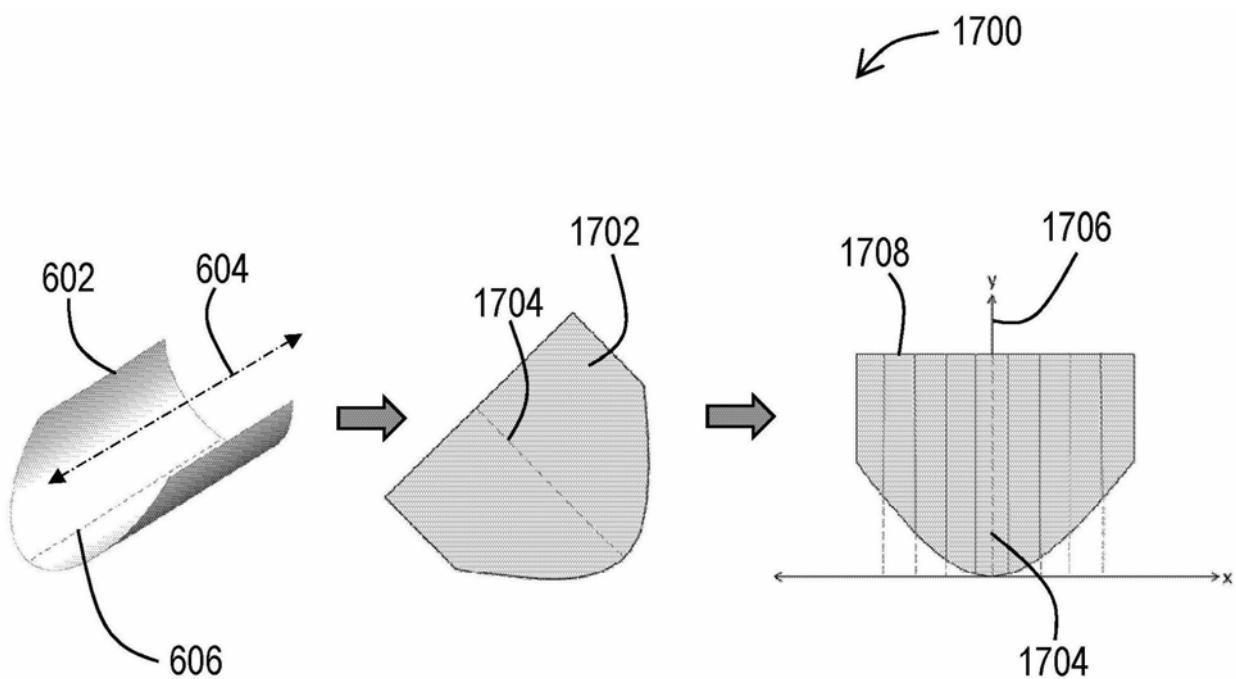


图17

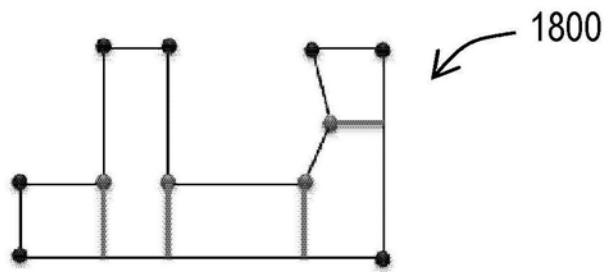


图18

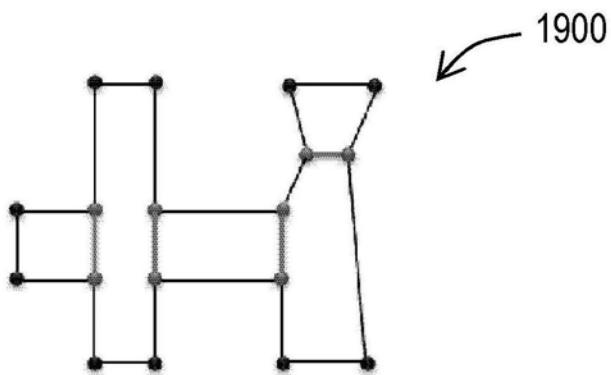


图19

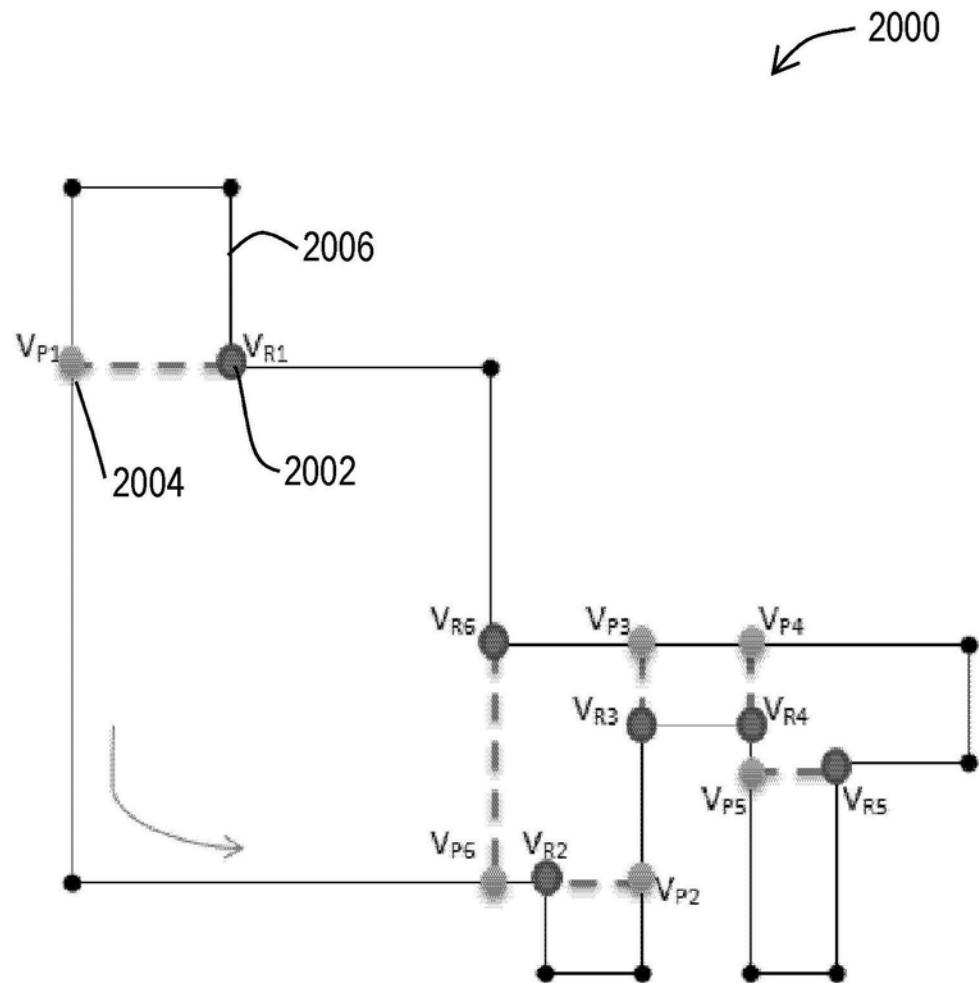


图20

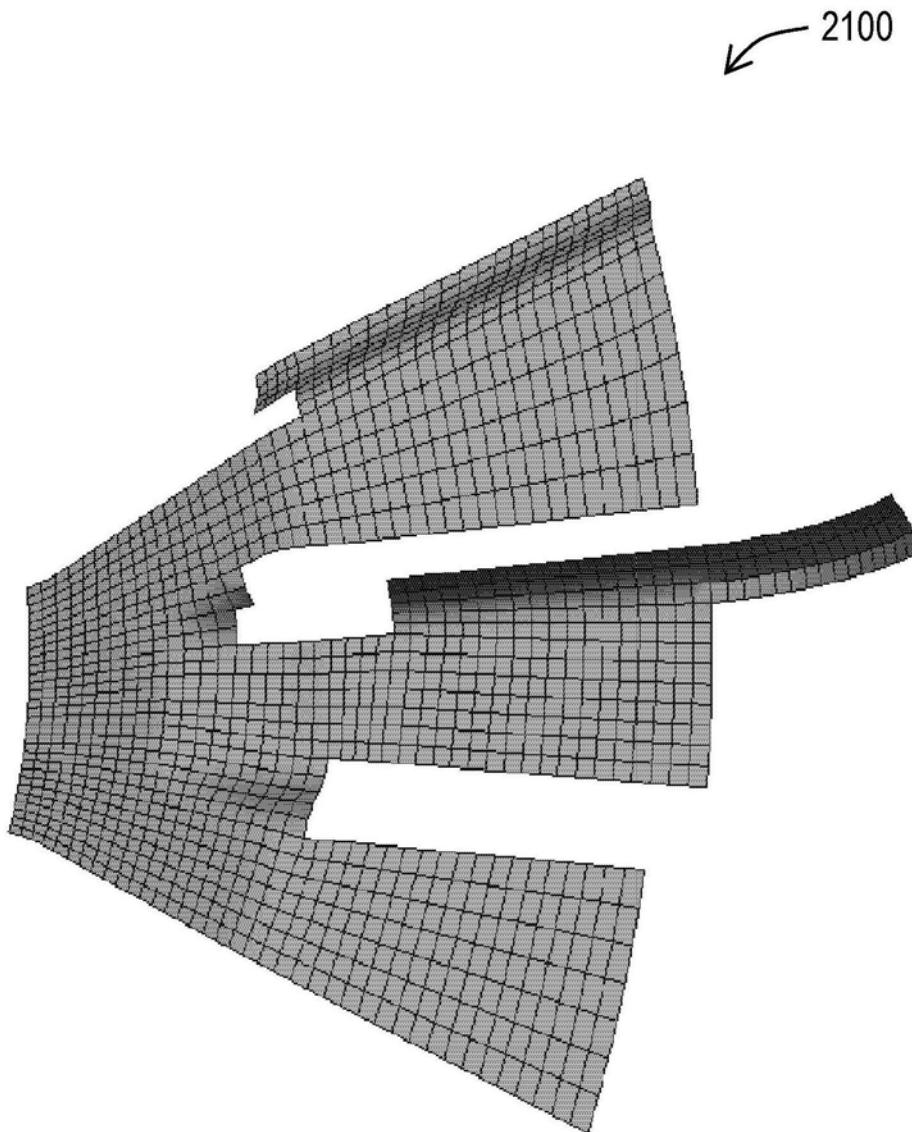


图21

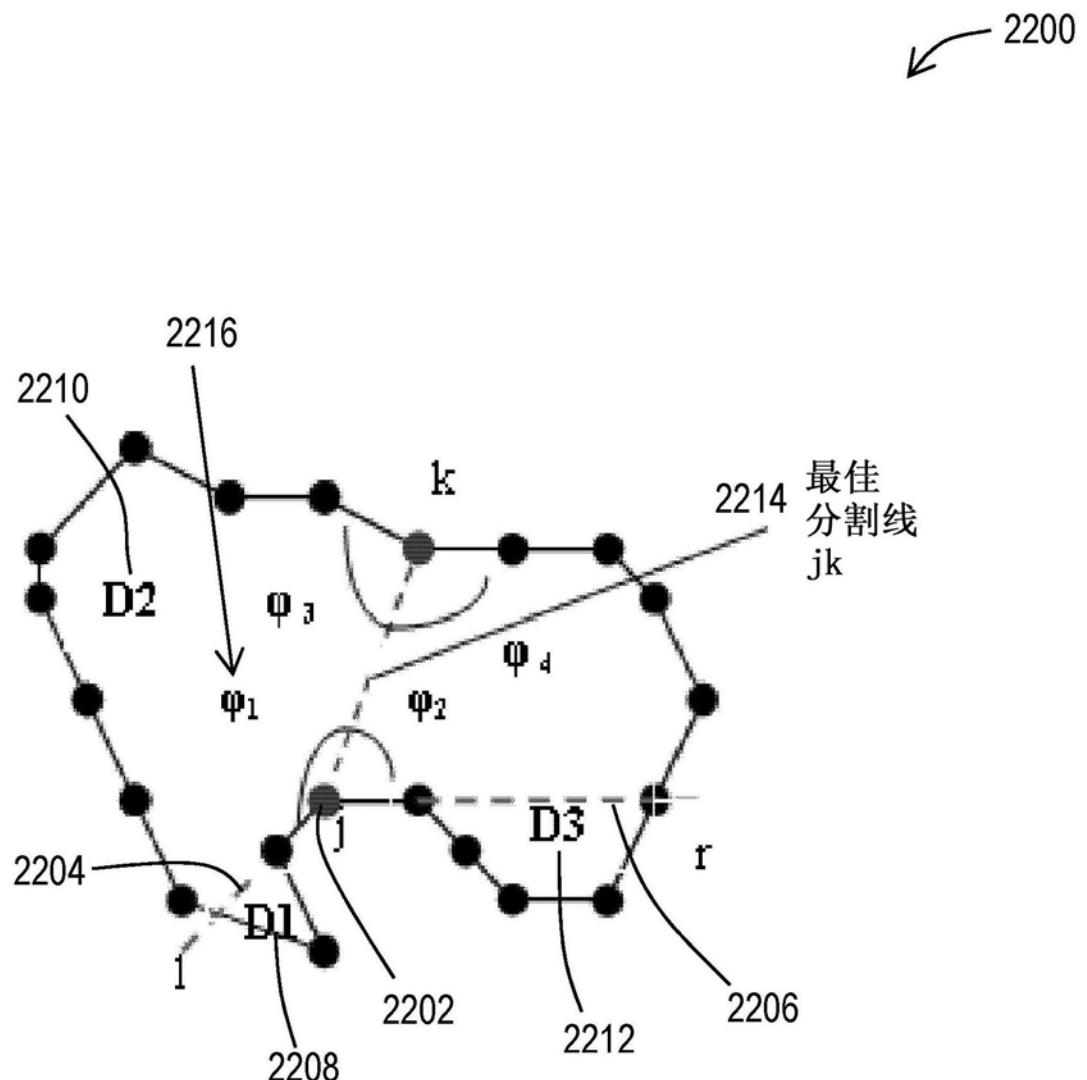


图22

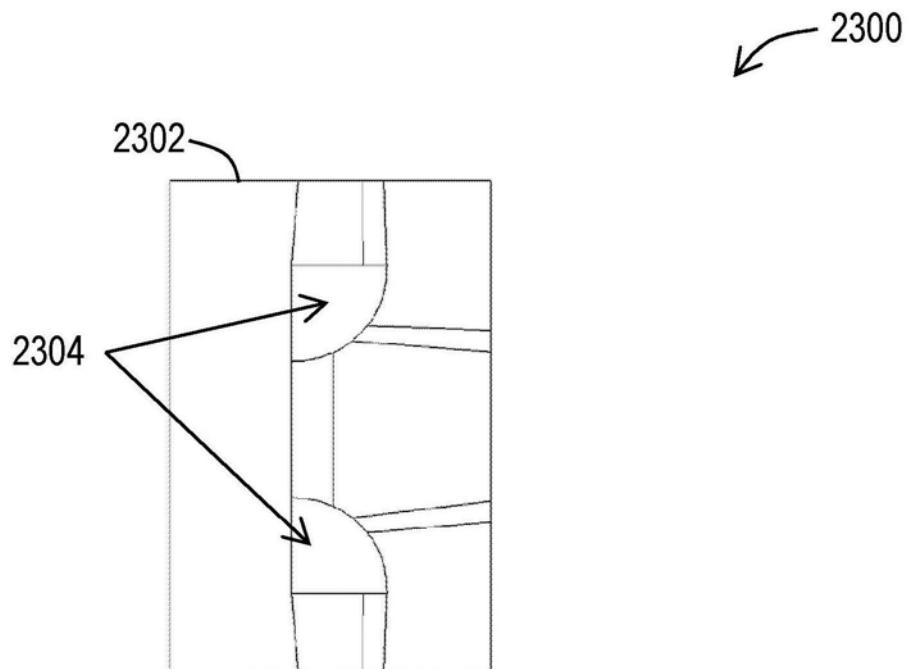


图23

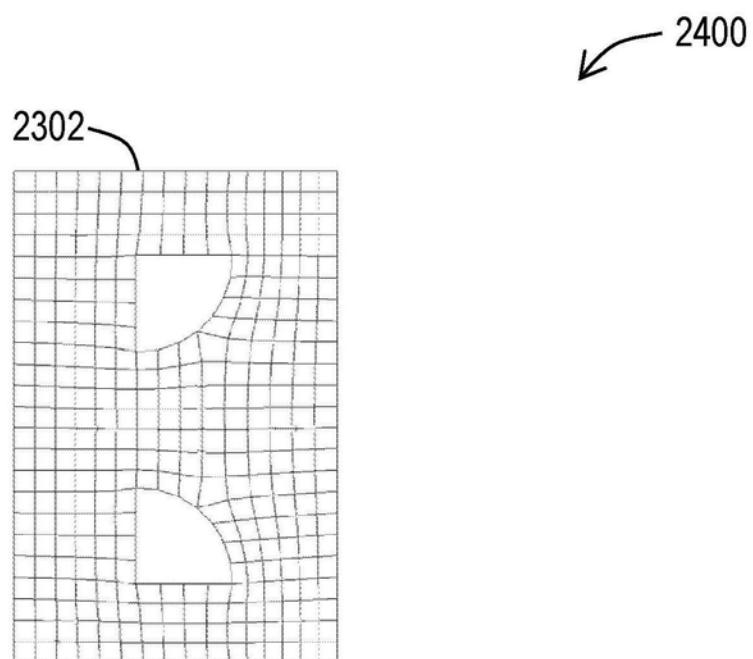


图24

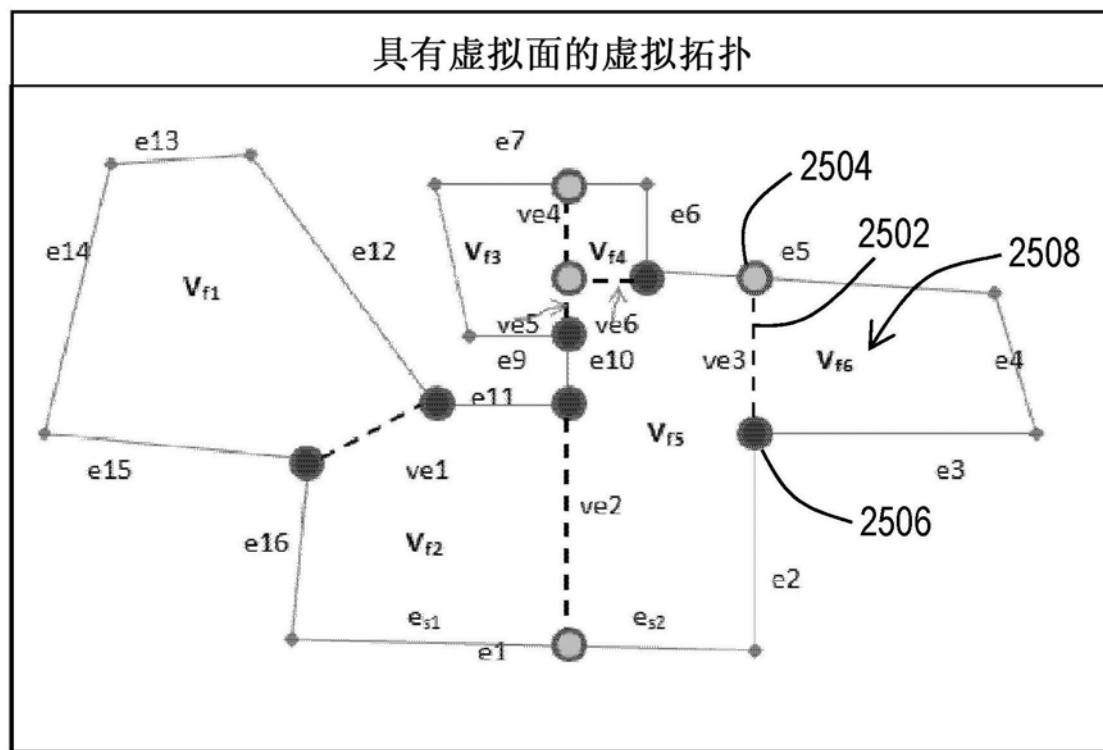


图25

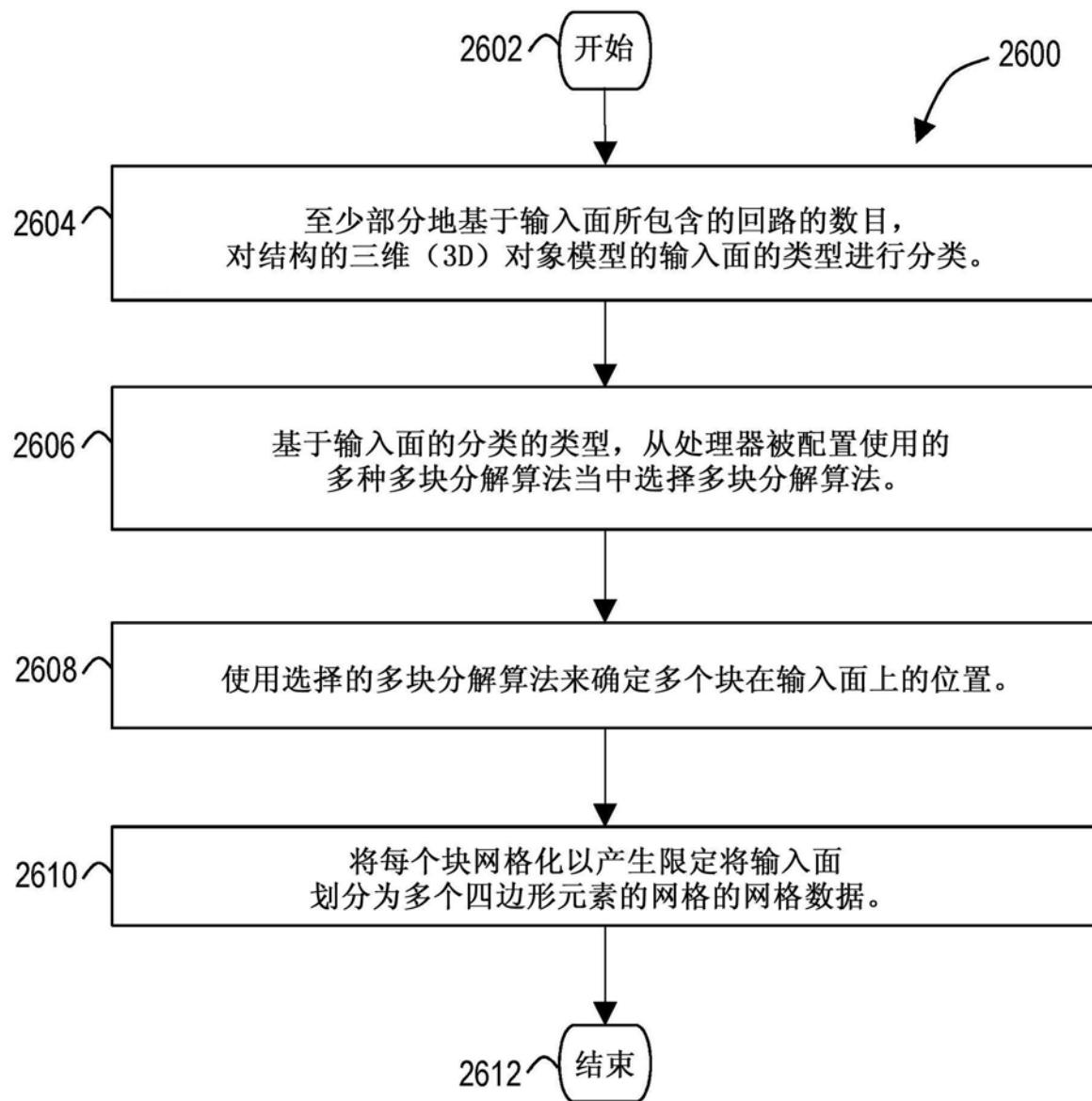


图26

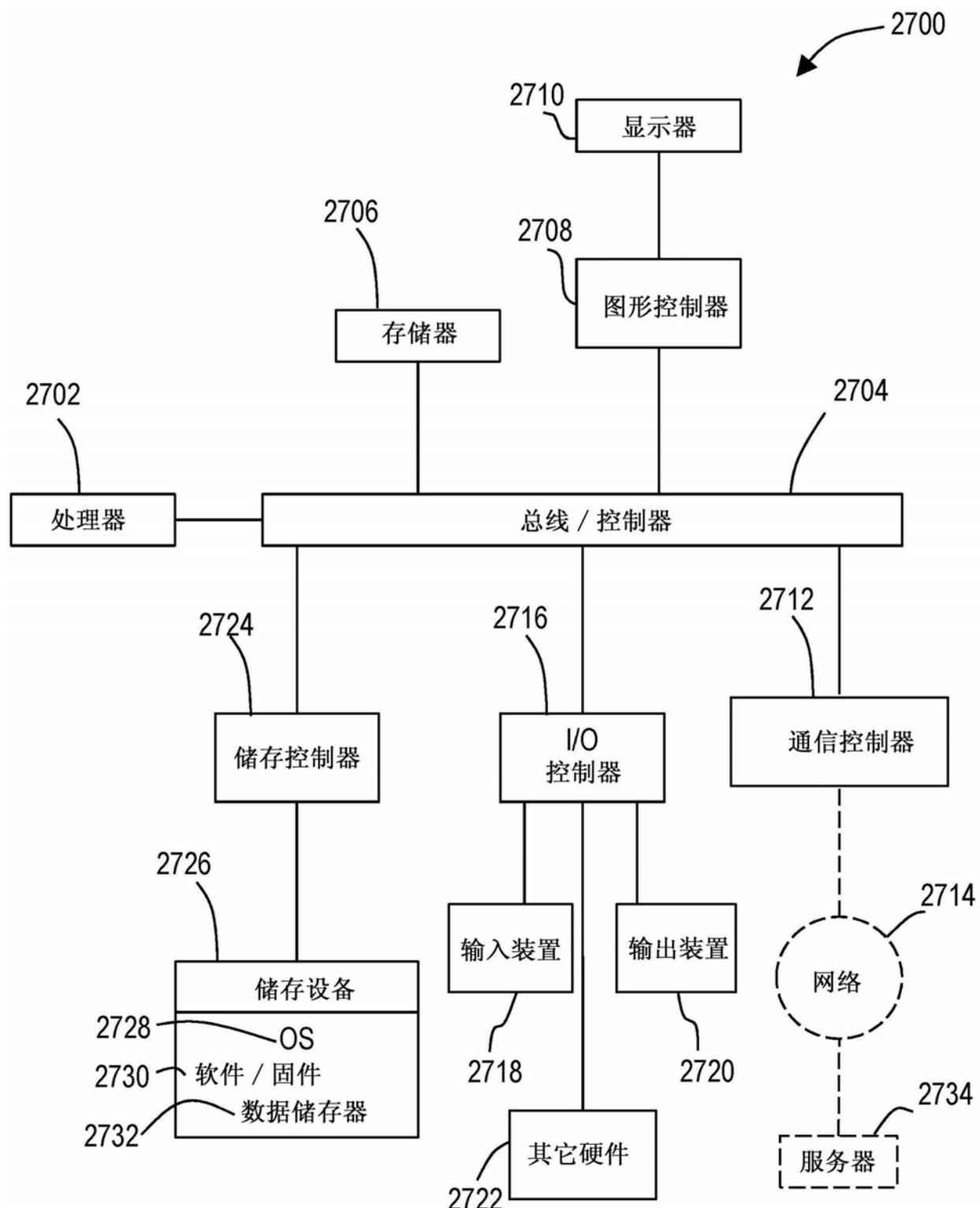


图27