



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103890764 B

(45)授权公告日 2017.06.23

(21)申请号 201280051944.0

(22)申请日 2012.09.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103890764 A

(43)申请公布日 2014.06.25

(30)优先权数据
61/550,429 2011.10.23 US
13/310,665 2011.12.02 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.04.22

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/056402 2012.09.20

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/062697 EN 2013.05.02

(73)专利权人 波音公司
地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 托马斯·A·格兰丁
马修·S·帕特森

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限
责任公司 11240
代理人 余刚 吴孟秋

(51)Int.Cl.
G06F 17/50(2006.01)

(56)对比文件
US 2008/0312764 A1,2008.12.18,
US 7010472 B1,2006.03.07,
US 2009112820 A1,2009.04.30,
US 2010/0204815 A1,2010.08.12,
G.Sealy .et al.Smoothing of three
dimensional modles by convolution.
《Computer Graphics International》.1996,
184-190.

审查员 张倩倩

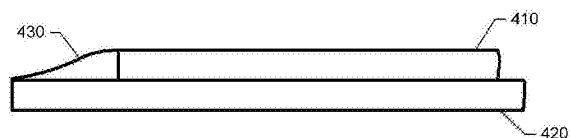
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

包括板层堆叠和树脂的复合部件的几何建模

(57)摘要

对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模。所述建模包括在堆叠的表示上进行卷积以使堆叠的不同板层之间接近平滑斜面。



1. 一种对包括板层堆叠 (110) 和树脂的复合部件进行建模的方法, 所述方法包括使用计算机 (610) 对所述堆叠 (110) 的表示 (130) 进行卷积以便在所述堆叠 (110) 的不同板层之间逼近平滑斜面, 其中利用根据所述树脂的特征选择的内核进行所述卷积, 并且所述内核是B样条卷积内核。

2. 根据权利要求1所述的方法, 进一步包括在所述卷积之前, 形成所述堆叠 (110) 的所述表示 (130) 的轮廓。

3. 根据权利要求1所述的方法, 进一步包括在所述卷积之后形成所述堆叠 (110) 的所述表示 (130) 的轮廓。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其中利用按程序建模的表面形成所述堆叠 (110) 的所述表示 (130) 的轮廓。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述表示 (130) 的顶板层对应所述堆叠 (110) 的模塑线板层。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述表示 (130) 的顶板层对应所述堆叠 (110) 的中间板层。

7. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述表示 (130) 标识所述堆叠 (110) 在所述堆叠 (110) 的限定表面上的离散点处的厚度。

8. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述表示 (130) 标识数千边缘。

9. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述内核是体积保持的内核。

10. 一种对包括板层堆叠 (110) 和树脂的复合部件进行建模的方法, 所述方法包括使用计算机 (610) 对所述堆叠 (110) 的表示 (130) 进行卷积以便在所述堆叠 (110) 的不同板层之间逼近平滑斜面, 其中利用B样条卷积内核进行所述卷积, 并且结点与所述内核的中心的距离对应于所述树脂如何从所述堆叠的边缘流动。

11. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 按照

$$\int_{-\infty}^{\infty} Z(t | x_0, \dots, x_n) M(x-t | y_0, \dots, y_m) dt$$

进行所述卷积, 其中, Z是定义2D板层堆叠 (320) 的垂直分量的分段常值函数, 且M是所述B样条卷积内核, 所述内核由其结点和阶定义。

12. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述部件是商用飞机的机身部件。

13. 根据权利要求1所述的方法, 进一步包括将所述卷积的结果用于定义针对复合部件的带布置的测地线。

14. 根据权利要求1所述的方法, 进一步包括将所述卷积的结果用于为所述复合部件开发工具侧表面 (520)。

15. 根据权利要求1所述的方法, 进一步包括将所述卷积的结果用于所述复合部件的平坦构图 (530)。

16. 一种包括被编程以便对包括板层堆叠 (110) 和树脂的复合部件进行建模的计算机 (610) 的装置, 所述建模包括对所述堆叠 (110) 的表示 (130) 进行卷积以便在所述堆叠 (110) 的不同板层之间逼近平滑斜面, 其中利用具有表示所述树脂如何从所述堆叠的边缘流动的结点结构的内核进行卷积, 并且利用B样条卷积内核进行所述卷积。

17. 一种包括被编程有助于使计算机 (610) 对包括板层堆叠 (110) 和树脂的复合部件进

行建模的数据的非易失性计算机存储器 (630) 的物品,所述建模包括对所述堆叠 (110) 的表示 (130) 上进行卷积以便在所述堆叠 (110) 的不同板层之间逼近平滑斜面,其中利用根据所述树脂的特征选择的内核进行所述卷积,并且所述内核是B样条卷积内核。

18. 根据权利要求17所述的物品,其中,所述表示 (130) 标识所述堆叠 (110) 在所述堆叠 (110) 的限定表面上的离散点处的厚度。

19. 根据权利要求17所述的物品,其中,对所述堆叠的所述表示进行所述卷积从而生成经验逼近,并且其中所述经验逼近被增加到表面模型。

20. 根据权利要求17所述的物品,其中,将所述堆叠的所述表示与表面模型结合以形成轮廓的校正,并且其中对所述轮廓的校正进行所述卷积。

21. 根据权利要求17所述的物品,其中,所述内核是体积保持的内核。

22. 根据权利要求17所述的物品,其中,所述数据进一步使所述计算机利用所述建模来改进复合制造过程。

23. 根据权利要求16所述的装置,其中,所述表示 (130) 标识所述堆叠 (110) 在所述堆叠 (110) 的限定表面上的离散点处的厚度。

24. 根据权利要求16所述的装置,其中,对所述堆叠的所述表示进行所述卷积从而生成经验逼近,并且其中所述经验逼近被增加到表面模型。

25. 根据权利要求16所述的装置,其中,将所述堆叠的所述表示与表面模型结合以形成轮廓的校正,并且其中对所述轮廓的校正进行所述卷积。

26. 根据权利要求16所述的装置,其中,所述内核是体积保持的内核。

27. 根据权利要求16所述的装置,其中,进一步对所述计算机进行编程以利用所述建模来改进复合制造过程。

包括板层堆叠和树脂的复合部件的几何建模

背景技术

[0001] 因为复合材料具有高强度、高硬度和低重量,所以其很受航空和航天工业的欢迎。可以通过在芯轴上堆叠灌注树脂的碳纤维带或者织物的板层,在板层堆叠上形成气密的外膜,并且固化该堆叠来构造诸如蒙皮或者增强板的复合结构。

[0002] 非常期望减少飞机的重量,因为其减少飞机的运行成本。可以根据需要通过使用复合材料来减少复合飞机部件的重量。可以由外板层形成蒙皮。可以使用蒙皮上的垫堆来增加将要安装紧固件或者需要额外的强度的位置的厚度。在诸如复合机身的复杂结构中,蒙皮可以具有以各种程度填补到任意的区域上用于强度或者精确计量的整体额定厚度。

[0003] 板层堆叠可以具有台阶状的几何形状。在固化之前,板层堆叠的边缘是锋利的。在固化期间,预注入的树脂流动通过堆叠,形成从一个板层转移至下一个板层的脱离边缘的斜面。诸如机身的复杂结构可以具有成千上万的边缘。

[0004] 在飞机工业中,建模复合部件的几何形状是有用处的。可以将几何形状模型用于确定用于复合部件的材料性能(例如,应力、张力、以及转移),生成带布置顺序,并且产生自动的NC部件程序。

发明内容

[0005] 根据本文的实施方式,对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模。所述建模包括对堆叠的表示进行卷积以便在堆叠的不同板层之间逼近平滑斜面。

[0006] 根据本文的另一实施方式,包括被编程以对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模的计算机的装置。所述建模包括对堆叠的表示进行卷积以便在堆叠的不同板层之间逼近平滑斜面。

[0007] 根据本文的另一实施方式,包括被编程有用于使计算机对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模的数据的非易失性计算机存储器的物品。所述建模包括对堆叠的表示进行卷积以便在堆叠的不同板层之间逼近平滑斜面。

[0008] 本公开内容的一方面涉及对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模的方法。该方法包括使用计算机对堆叠的表示进行卷积以便在堆叠的不同板层之间逼近平滑斜面。

[0009] 在一个实例中,方法还包括在卷积之前形成堆叠的表示的轮廓。

[0010] 在一个变形中,方法还包括在卷积之后形成堆叠的表示的轮廓。

[0011] 在方法的一个替代中,利用按照程序建模的表面形成堆叠的表示的轮廓。

[0012] 在方法的另一个实例中,所述表示的顶板层对应堆叠的模塑线板层。

[0013] 在方法的另一个变形中,所述表示的顶板层对应堆叠的中间板层。

[0014] 在方法的另一个替代中,所述表示标识在堆叠的限定表面上的离散点处的堆叠的厚度。

[0015] 在方法的又一个实例中,所述表示标识成千上万的边缘。

[0016] 在方法的又一个变形中,利用体积保持的内核进行卷积。

[0017] 在方法的又一个替代中,利用B样条卷积内核进行卷积。

[0018] 在方法的再另一个实例中,结点与内核中心的距离对应于树脂如何从堆叠的边缘流动。

[0019] 在方法的再另一个变形中,按照

$$[0020] \int_{-\infty}^{\infty} Z(t | x_0, \dots, x_n) M(x-t | y_0, \dots, y_m) dt$$

[0021] 进行卷积,其中,Z是定义2D板层堆叠的垂直分量的分段常值函数,和M是由其结点和阶定义的B样条卷积内核。

[0022] 在方法的再另一个替代中,利用根据树脂的特征选择的内核进行卷积。

[0023] 在方法的再又一个实例中,部件是商用飞机的机身部件。

[0024] 在再又一个变形中,方法还包括使用卷积的结果用于定义针对复合部件的带布置的测地线。

[0025] 在再又一个替代中,方法还包括使用卷积的结果来为复合部件开发工具侧表面。

[0026] 在更进一步的实例中,方法还包括使用卷积的结果用于复合部件的平坦构图。

[0027] 本公开内容的另一方面涉及包括编程以便对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模的计算机的装置。所述建模包括对堆叠表示进行卷积以便在堆叠的不同板层之间逼近平滑斜面。

[0028] 在装置的一个实例中,利用具有表示树脂如何从堆叠的边缘流动的结点结构的B样条卷积内核进行卷积。

[0029] 本公开内容的又一个方面涉及包括被编程有助于使计算机对包括板层堆叠和树脂的复合部件进行建模的数据的非易失性计算机存储器的物品。所述建模包括对堆叠的表示进行样条卷积以便在堆叠的不同板层之间接近平滑斜面。

[0030] 可互换使用上文的术语“实例”、“变形”以及“替代”。

[0031] 可以在各种实施方式中单独地实现这些特征和功能或者可以在其他实施方式中结合这些特征和功能。参考以下描述和附图可以看到实施方式的更多细节。

附图说明

[0032] 图1是板层堆叠的示图。

[0033] 图2A至2C是建模包括板层堆叠和树脂的复合部件的方法的示图。

[0034] 图3A至3D是建模包括板层堆叠和树脂的复合部件的方法的示图。

[0035] 图4是从第一板层至第二板层的树脂斜面的示图。

[0036] 图5是使用复合部件的模型来改进部件的制作的示图。

[0037] 图6是用于建模包括板层堆叠和树脂的复合部件的机器的示图。

[0038] 图7是包括可以根据本文的实施方式建模的部件的飞机的示图。

具体实施方式

[0039] 参考图1,图1示出固化之前的板层堆叠110。堆叠110包括多个树脂灌注纤维的板层(例如,10和100板层之间)。该纤维可以作为带子或者织物应用。可以将板层堆叠为与外表面垂直。堆叠110具有台阶状的几何形状。堆叠110的预固化边缘是锋利的。

[0040] 在复合飞机部件的设计中,可以从(例如,飞机的)外表面向内表面设计堆叠110。可以以相反方向制造堆叠110(最后放置飞机表面)。对于涉及外模塑线的部件(即,飞机的

外表面),可以从外模塑线向内模塑线设计那些部件。对于制造(特别地对于诸如机身的大型结构的制造),可采用相反的方向,从内模塑线向外堆积板层。图1中的箭头并非对所有的飞机部件都是对的(例如,可以从外模塑线向内模塑线设计和建造机翼蒙皮)。然而,箭头旨在指出外模塑线可以是设计表面和内模塑线可以是工具表面(tooling surface)。

[0041] 现在参考图2A,图2A图示建模包括板层堆叠和树脂的复合部件的方法。在程序块210,存取板层堆叠的离散表示(“离散校正”)。离散校正在板层堆叠的限定表面(例如,内或者外表面)上的任一点标识板层堆叠的厚度。诸如机身的复杂结构可以具有成千上万的边缘。在一些实施方式中,离散校正可以是分段常值函数。

[0042] 可以从部件的工程定义获得离散校正。工程定义可以限定包括部件的诸如孔隙、修剪位置以及工程边缘的轮廓和特征的表面几何图形。工程定义还可以指定每个板层内的板层下降、板层边界、堆叠序列以及纤维定向。工程定义可以定义复合部件的材料规格。可以将软件设计成通过计算在定义表面上的多个点处的板层来生成堆叠的离散表示。

[0043] 在程序块220,对堆叠的离散表示进行卷积。该卷积“软化”边缘并且使堆叠的不同板层之间接近平滑斜面。这些平滑斜面在固化之后表现为树脂。(在固化期间,预注入的树脂将流过堆叠,形成从一个板层转移至下一个板层的脱离边缘的斜面。)卷积的结果是固化的堆叠的经验逼近。

[0044] 实际上,将在固化之前形成堆叠的轮廓。例如,如果工具表面弯曲,将根据工具表面的弯曲形成堆叠的轮廓。

[0045] 图2B和2C示出两个可以形成经验逼近的轮廓的不同的方式。可以在卷积之后(图2B)或者卷积之前(图2C)形成轮廓。可以由表面模型(surface model)定义轮廓。在一些实施方式中,表面模型代表工具表面(即,将在其上堆叠板层的表面),其将向固化的部件提供轮廓。在其他实施方式中,表面模型可以代表与另一个部件(即,复合部件将附着的表面)的配合表面、外模塑线、或者任何其他预定义的表面。

[0046] 在一些实施方式中,可以将表面建模为样条。在其他实施方式中,可以将表面建模为诸如锥形、球体、平面或者其组合的基本体。

[0047] 还是在其他实施方式中,可以按程序建模表面。例如,在领域内映射表面,其中,以不同的方法映射该领域的不同部分。例如,在领域的一个部分上将表面映射为样条或者基本体(primitive,例如,圆柱体的一部分),并且在领域的其余部分上(例如,在构件的边缘)将表面映射为具有规定的半径的圆倒角。

[0048] 参考图2B,图2B图示了卷积之后形成离散校正的轮廓的第一方法。在程序块250,在堆叠的离散表示上进行卷积以便使堆叠的不同板层之间接近平滑斜面。

[0049] 在程序块260,将通过卷积生成的经验逼近增加到表面模型。可以将经验逼近作为

$S(u,v)=T(u,v)+\hat{Z}(u,v)N(u,v)$ 增加到表面模型,其中

[0050] (u,v) 表示单位面积内的点的位置;

[0051] $S(u,v)$ 表示根据表面模型形成轮廓的经验逼近;

[0052] $T(u,v)$ 表示表面模型,其可以是单位面积到3D空间的映射,使得在单位面积中的点 (u,v) 被映射为表面上的点 $T(u,v)$;

[0053] $Z(u,v)$ 是离散校正;

[0054] $\hat{Z}(u, v)$ 是离散校正的卷积;以及

[0055] $N(u, v)$ 是表面法线。

[0056] 参考图 2C, 图 2C 图示在卷积之前形成经验逼近的轮廓的第二个方法。在程序块 280, 板层堆叠的离散表示与表面模型结合。因此, 形成离散校正的轮廓。

[0057] 在程序块 290, 在形成轮廓的校正上进行卷积。

[0058] 所述卷积仅应用于校正, 不应用于表面模型。在高压锅中固化部件期间, 例如, 工具表面没有被施加的热量和压力改变。

[0059] 图 3A 至图 3D 示出图 2C 的方法。在图 3A 中示出形成轮廓的下层表面 310 (例如, 工具表面), 并且图 3B 示出包括三个板层的 2D 堆叠 320。图 3C 中示出在形成轮廓的表面 310 上的堆叠 320 的组合表示 130。在该组合表示 130 中, 堆叠 320 位于表面 310, 并且堆叠 320 的边缘是锋利的。堆叠 320 接着下层表面 310 的轮廓。

[0060] 图 3D 示出从针对形成轮廓的离散校正进行的卷积产生的逼近 340。从第三板层至第二板层、从第二板层至第一板层、以及从第一板层至表面 310 形成树脂斜面。

[0061] 图 4 示出从第一板层 420 转移至第二板层 430 的树脂斜面 410。

[0062] 利用内核进行卷积。仅作为一个实例, 可以利用 B 样条卷积内核进行卷积。B 样条内核由其结点和阶限定。根据

$$[0063] \int_{-\infty}^{\infty} Z(t | x_0, \dots, x_n) M(x-t | y_0, \dots, y_m) dt$$

[0064] 进行卷积, 其中, Z 是定义 2D 板层堆叠的垂直分量的分段常值函数, 和 M 是由 B 样条卷积内核的结点和阶定义的 B 样条卷积内核。

[0065] 在内核的设计中, 构造结点结构, 并且选择阶。所述阶确定平滑的量。所述结点结构和阶固定内核的系数。结点结构影响树脂的移动的建模。大致说来, 结点距离内核的中心越远, 表现的流动越多。

[0066] 在一些实施方式中, 内核是体积保持的 (volume-preserving)。体积保持的内核是在整个领域上积分至一体的内核。当通过卷积算子应用时, 原始对象 (original object) 的积分保持不变。在卷积的情况下, 这是指复合部件的体积没有变化。

[0067] 然而, 内核不限于体积保持的内核。使用非体积保持的内核使得能够建模在固化期间出现材料压缩的情形。

[0068] 在一些实施方式中, 可利用内核的选择, 并且利用根据树脂的特征选择的内核进行卷积。例如, 可以在对应于第一类型数值的第一内核和对应于另一类型数值 (流动更加自由并且更加可能形成更长的斜面) 的第二内核之间进行选择。可以通过不同的结点结构区分不同的内核, 或者可以使用不同类型的内核。其他类型的内核的实例包括高斯分布和概率密度函数。然而, B 样条比这些其他内核更快, 并且因为 B 样条在空间内密集, 所以可以将其配置为建模树脂的不同的流动。

[0069] 现在参考图 5。可以有利地使用本文的建模 (程序块 510) 来改进复合制造过程。作为第一实例, 本文的建模可以用于开发工具侧表面 (tool side surface, 见程序块 520)。从外表面开始, 不断地增加板层并且使板层平滑直到获得工具侧表面。这些工具侧表面可以用于利用机器制造模具。

[0070] 作为第二实例, 堆叠的中间层的建模可以用于改进平坦构图 (flat patterning,

见程序块530)。例如,如果经验逼近揭示板层延伸超过树脂斜面,那么可以缩短该板层。如果经验逼近揭示板层太短,那么可以延长该板层。

[0071] 作为第三实例,所述建模可以用于减小重量计算的不确定性。所述建模可以减小树脂量、板层的长度和厚度(其影响板层重量)、重心以及惯性矩等的不确定性。

[0072] 作为第四实例,所述建模可以用于推断带布置顺序(程序块550)。所述建模提供可以可靠地和准确地在其上计算测地线的光滑表面。这些测地线形成改进带布置操作(包括带布置顶端的次序、方向以及转向)的计算的基础。

[0073] 本文的方法不限于建模复合部件的最后的表面。在一些实施方式中,本文的方法可以用于中间或者部分板层堆叠的建模。中间板层位置可以用于为非均质的板层堆叠提供维修示图 and 进行大量特性计算,两者都需要固化的部分板层堆叠的模型。可以简单地通过使所有的板层留在中间板层上方建模该中间板层。

[0074] 现在参考图6,图6示出包括处理器620和非易失性计算机可读存储器630的机器610。在一些实施方式中,机器610可以是计算机。在存储器630中存储程序640。如本文所述,当在机器610中执行时,程序640对一个或多个复合部件进行建模。

[0075] 参考图7,图7示出复合飞机700的实例。飞机700包括可以根据本文的方法建模的其组件和部件。组件可以包括,但是不局限于,机身710、机翼设备720、尾翼730、以及起落装置设备740。

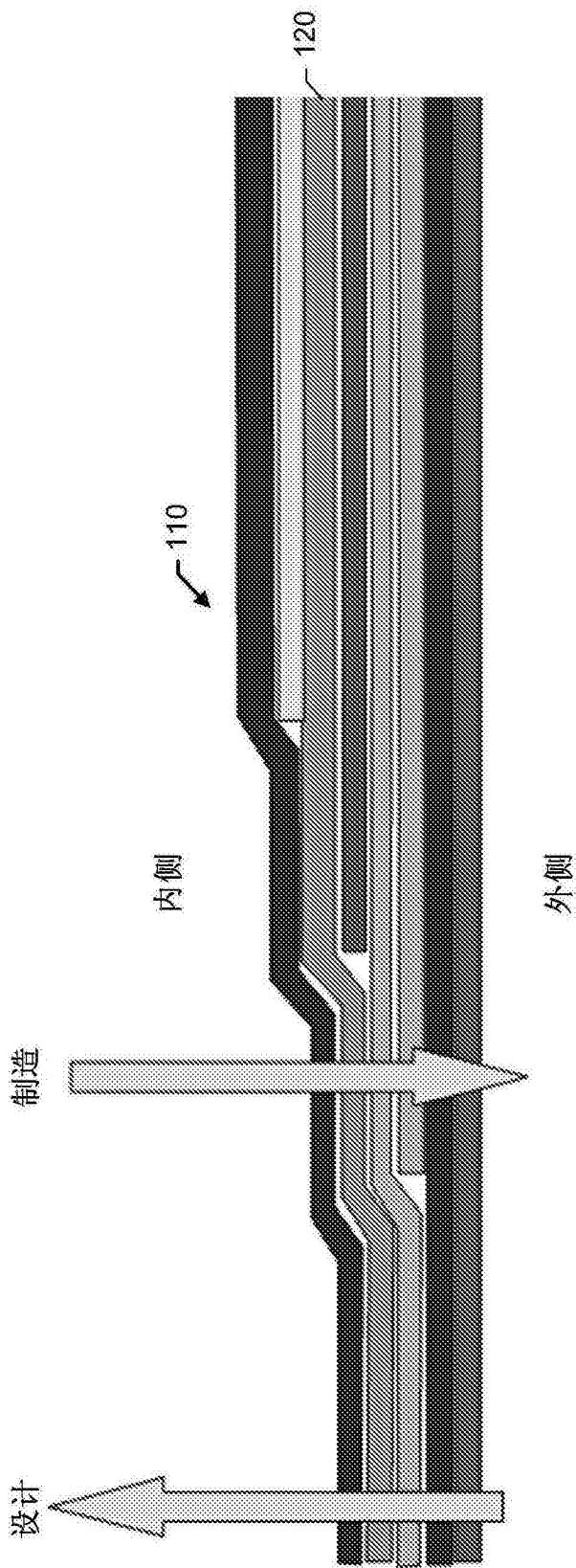


图1

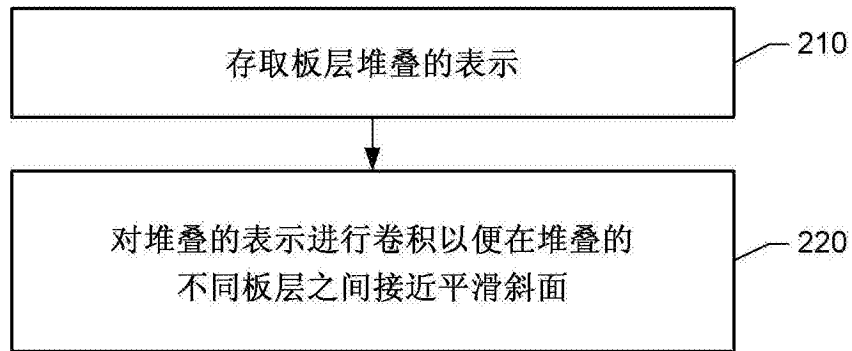


图2A

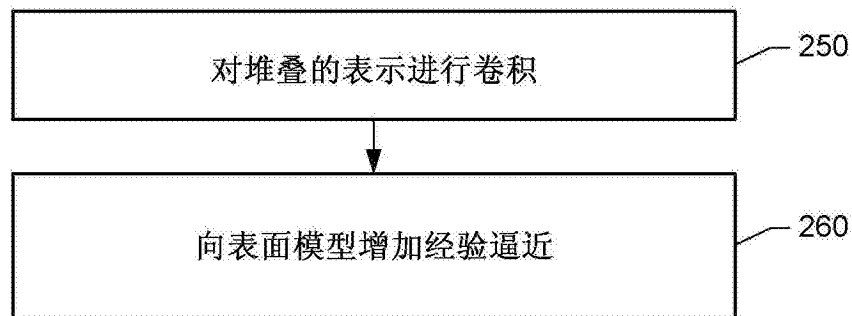


图2B

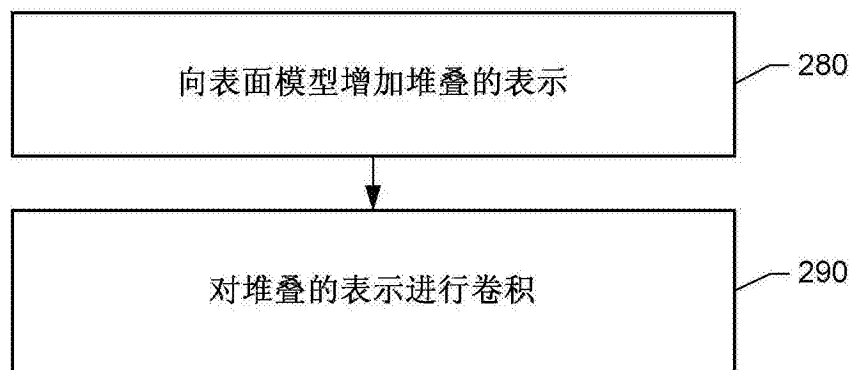
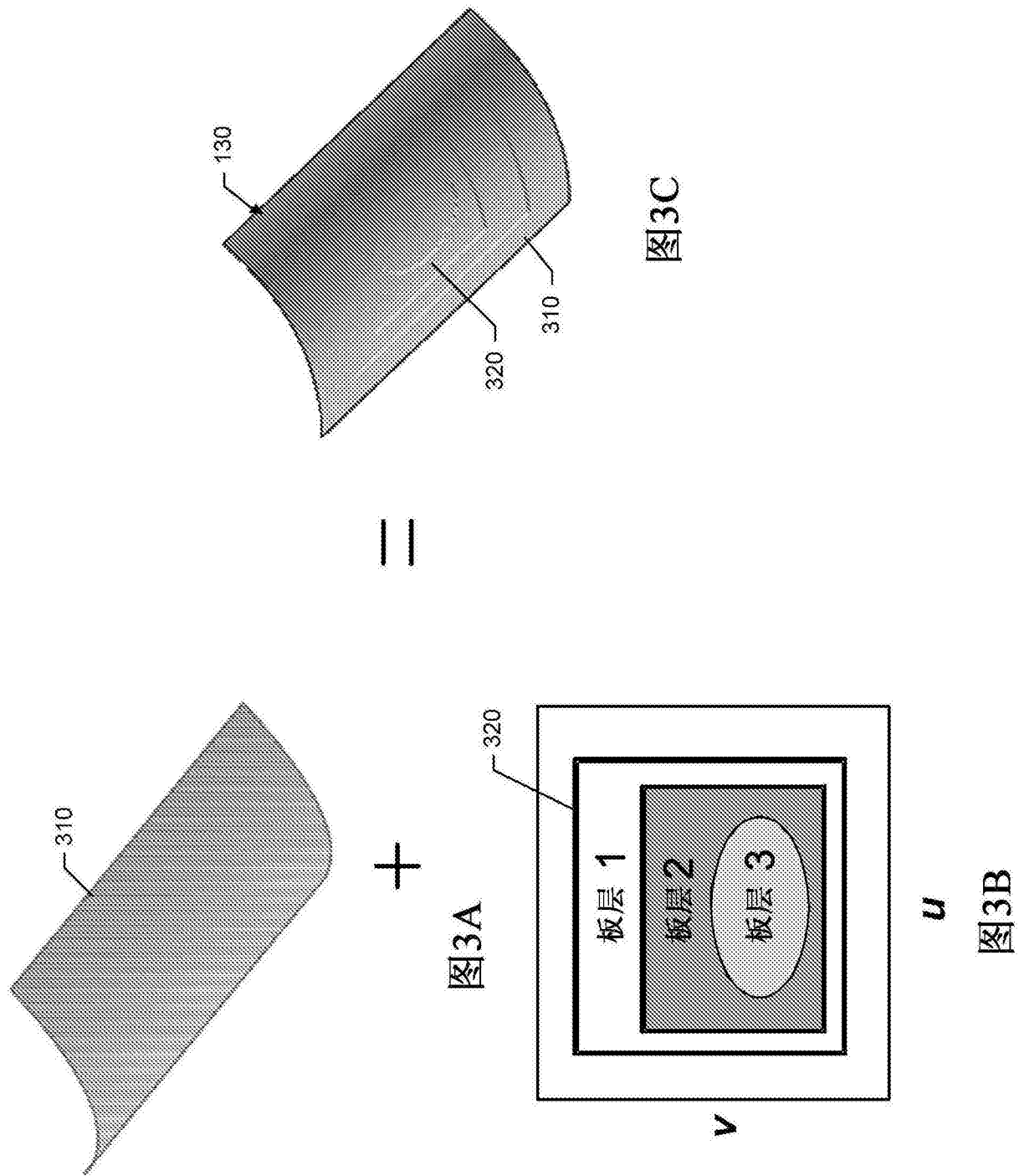


图2C



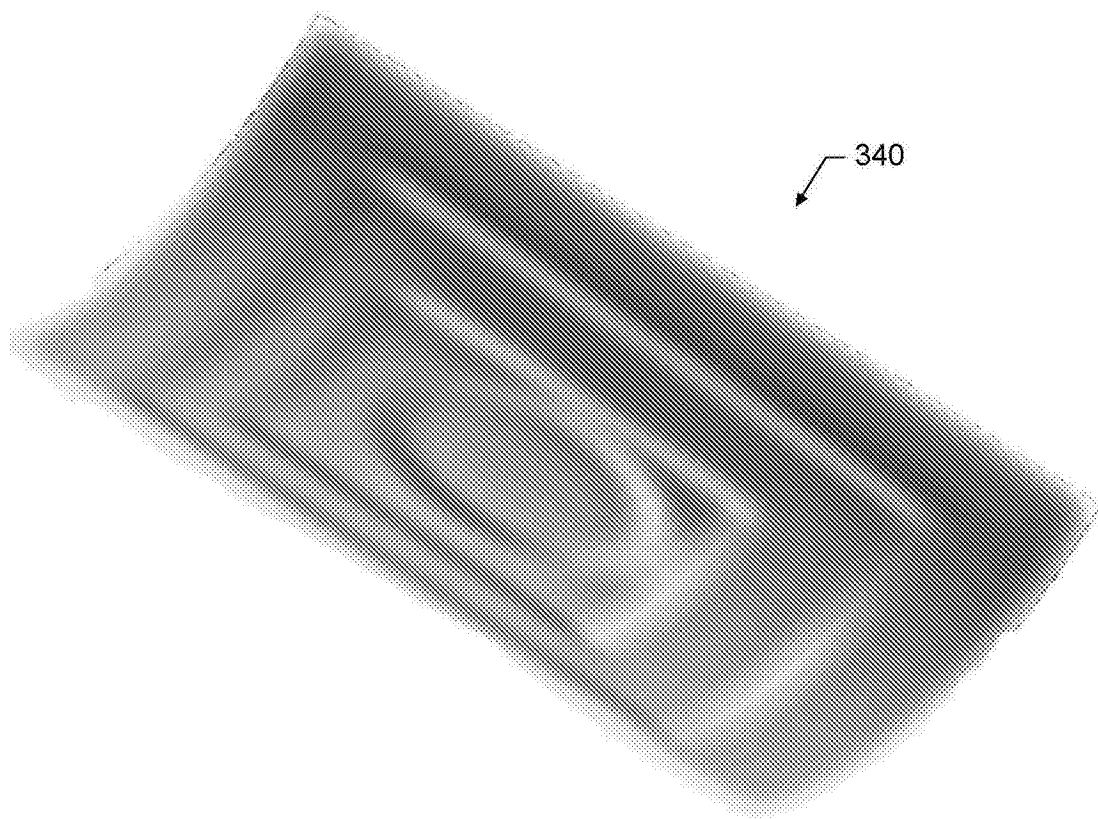


图3D

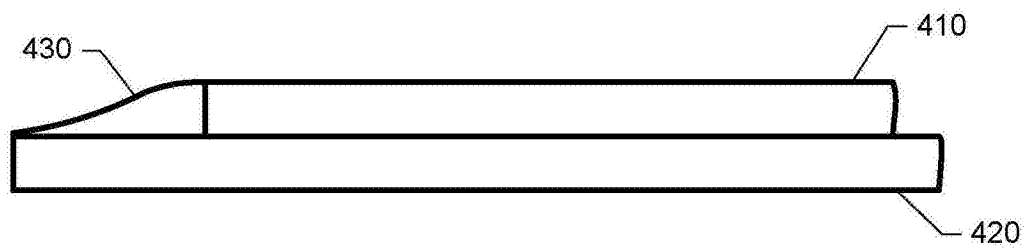


图4

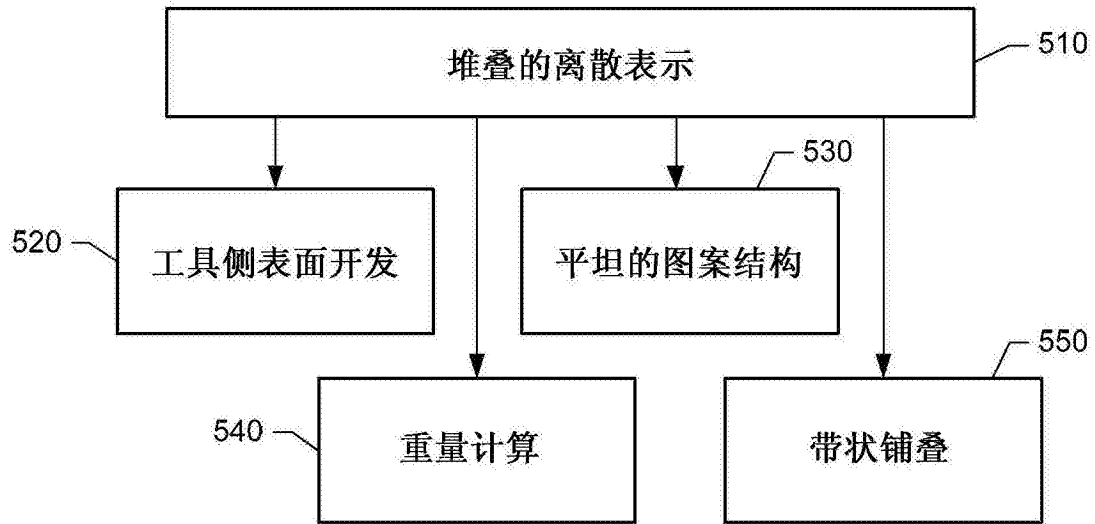


图5

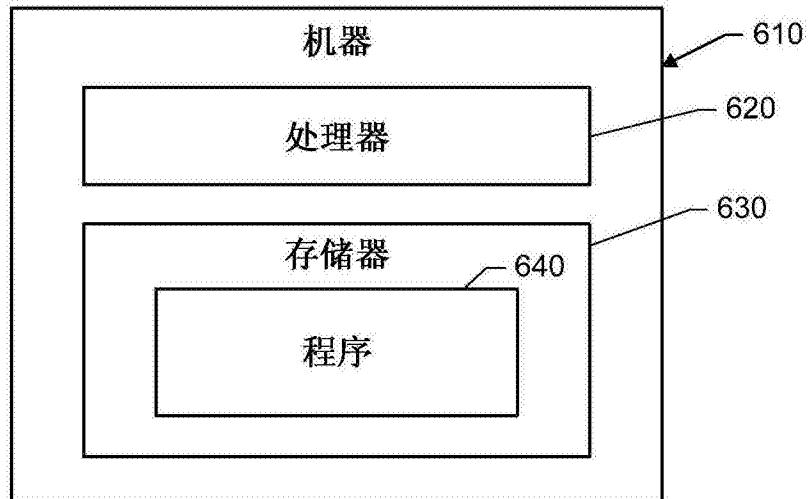


图6

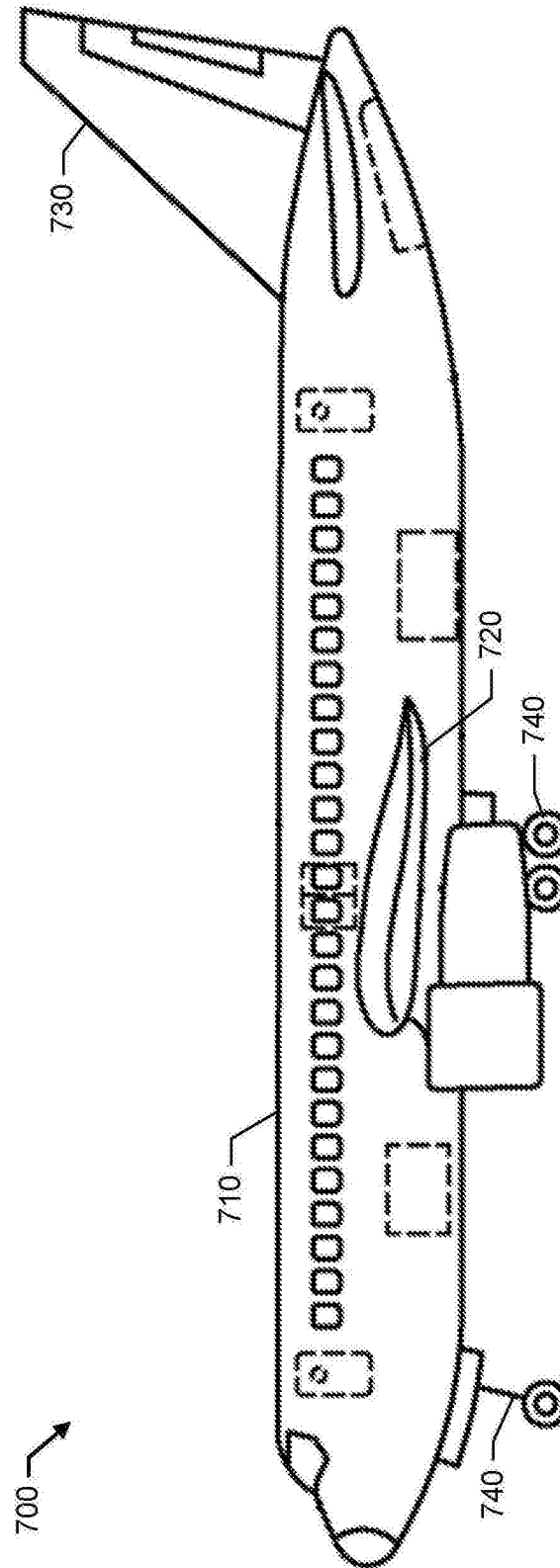


图7