

[19] Patents Registry
The Hong Kong Special Administrative Region
香港特別行政區
專利註冊處

[11] 30110103 A

[12] **SHORT-TERM PATENT SPECIFICATION**
短期專利說明書

[21] Application no. 申請編號
32024096535.2

[51] Int. Cl.
D03D 15/25 (2021.01)

[22] Date of filing 提交日期
09.09.2024

[45] Date of publication of grant of patent 批予專利的發表日期
13.12.2024

[73] Proprietor 專利所有人
Centre for Perceptual and Interactive Intelligence (CPII)
Limited
博智感知交互研究中心有限公司
香港
新界白石角香港科學園科技大道西 17 号
17W 大樓 5 樓 501-509 室

[72] Inventor 發明人
Yeung YAM 任揚
Changling Charlie WANG 王昌凌
Xiangjia CHEN 陳祥加
Chengkai DAI 戴澄楷
Chun Ping LAM 林俊平
Binzhi SUN 孫彬智

[74] Agent and / or address for service 代理人及/或送達地址
香港知識產權代理有限公司
香港
新界白石角香港科學園第三期
科技大道西 12 號 2 樓 230 室

[54] THREE-DIMENSIONAL CURVED SURFACE CAPACITIVE SENSORS AND WEAVING METHODS THEREOF
三維曲面電容傳感器及其織造方法

[57] The present application relates to a three-dimensional curved capacitive sensor and its weaving method. The weaving method includes the following steps: modelling a shape of the three-dimensional curved capacitive sensor into a three-dimensional curved surface mesh; converting the three-dimensional curved surface mesh into weaving information readable by a weaving device; generating control commands from the weaving information to weave the three-dimensional curved capacitive sensor using conductive warp threads and conductive weft threads; the conductive warp threads and the conductive weft threads each include a bendable wire core and an insulating layer wrapping around the wire core; forming a driving channel by connecting one or multiple the conductive warp threads in parallel and forming a sensing channel by connecting one or multiple the conductive weft threads in parallel. The driving channels and the sensing channels intersect and overlap to form capacitive nodes to form parasitic capacitance with a biological body to detect proximity. The capacitive nodes are configured to detect pressure values when the insulating layer deforms due to pressure. This weaving method allows the capacitive sensor to accurately conform to the target surface, achieving precise mapping of the sensing signals in three-dimensional space.

本發明涉及一種三維曲面電容傳感器及其織造方法。上述織造方法包括如下步驟：將三維曲面電容傳感器的形狀建模為三

三维曲面电容传感器及其织造方法

技术领域

5 本发明涉及传感器的技术领域，特别是涉及一种三维曲面电容传感器及三维曲面电容传感器的织造方法。

背景技术

生物接近传感器和压力传感器越来越多的应用于人机交互领域。特别在生物医学、运动监测等应用人机交互的技术领域，对于能够实时监测生物接近、
10 检测传感器表面受力以及量化受力大小的需求日益增长。

传统的生物接近传感器和压力传感器通常是分开设计和制造的。接近传感器主要用于检测生物接近距离，压力传感器则用于测量传感器表面的压力值。然而，这种分离设计增加了传感器的体积，结构复杂。这种传感器在扭曲或拉扯下容易损害，不适于在需要传感器覆盖大面积时或在柔性可穿戴设备中使用。

15 同时，一般的传感器产品为二维平面的结构，无法精准地铺设到复杂三维自由曲面，也无法实现信号传感阵列在三维自由曲面的分布。

发明内容

基于此，有必要针对上述技术问题，提供一种能够在扭曲或拉扯中不易损坏，且能够集成生物体接近检测和压力检测功能的三维曲面电容传感器及其织造方法。

一种三维曲面电容传感器的织造方法，包括如下步骤：

将三维曲面电容传感器的形状建模为三维曲面网格；

将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息；

25 以所述织造信息生成控制命令，以导电经线和导电纬线作为织物织造所述三维曲面电容传感器；所述导电经线和所述导电纬线均包括可弯曲的线芯和包裹所述线芯的绝缘层，所述绝缘层为可形变的弹性材料；以及

一个或多个所述导电经线并联形成驱动通道，一个或多个所述导电纬线并

联形成感应通道；所述驱动通道和所述感应通道交叉重叠处形成电容节点；所述电容节点用于与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近；且所述电容节点用于在压力导致所述绝缘层变形时，检测压力值。

5 在其中一个实施例中，所述将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息的步骤包括：

在所述三维曲面网格上设定梭织起点；

根据所述三维曲面网格上所有位置相对于所述梭织起点的测地距离，生成标量场；

根据预设的间隔量，在所述标量场上提取等高线；以及

10 以所述等高线为插入所述导电经线的位置，重建所述三维曲面网格，生成可梭织四边形网格；所述可梭织四边形网格的经纬线均为连续的；所述织造信息为所述可梭织四边形网格。

在其中一个实施例中，在所述根据所述三维曲面网格上所有位置相对于所述梭织起点的测地距离，生成标量场的步骤中，根据迪克斯特拉算法获得所述
15 三维曲面网格上所有位置相对于所述梭织起点的测地距离，从而生成连续扩散的所述标量场。

在其中一个实施例中，所述三维曲面网格为通过三角面片构建的网格文件。

在其中一个实施例中，所述将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息的步骤包括：

20 将所述三维曲面网格分解为二维的织造图 A；

将织造图 A 的行数加倍，然后通过角落加减网格保持连续性，形成织布图 B；

由所述织造图 B 生成织造图 C，以表示经线的进给速率；

由所述织造图 B 生成织造图 D，以说明提花装置选择要提升的经线；

25 其中，所述织造信息包括所述织造图 C 和所述织造图 D。

在其中一个实施例中，所述由所述织造图 B 生成织造图 C，以表示经线的进给速率的步骤中，将所述织造图 B 以最后一行作为参考从底部向顶部转换；所述织造图 C 中每个网格的状态用值 W 表示，W=1 表示填充状态，W<1 表示

说明书

空状态；如果织造图 B 中对应的网格为空，则织造图 C 中的网格也将为空，且 W 为-1；如果参考行中的网格为空，则织物将收缩以消除调整纬线长度后产生的空隙；S 表示收缩的长度， $S=1-W$ ，同一行中所有网格的值都会加上 S。

在其中一个实施例中，所述控制命令包括：

5 初始命令，用于将织造装置的部件移动到预定位置；

辊子命令，用于根据织造图 C 控制辊子矩阵；

提花命令，根据织造图 D 控制提花装置；

织造指令，用于控制所述织造装置将所述导电纬线带入由所述提花装置形成的梭口，并将所述导电纬线编织在所述导电经线上；及

10 结束命令，用于控制滚轮矩阵以预先设定的长度释放缠绕线程。

在其中一个实施例中，所述三维曲面网格具有均匀的网格单位；每个网格单元的长度等于相邻经线之间的间隙，每个网格单元的宽度等于相邻纬线之间的间隙。

一种三维曲面电容传感器，所述三维曲面电容传感器根据所述的三维曲面
15 电容传感器的织造方法的织造而成；所述三维曲面电容传感器包括所述驱动通道和所述感应通道；所述驱动通道包括一个或多个并联的所述导电经线；所述感应通道包括一个或多个并联的所述导电纬线；

其中，所述导电经线和所述导电纬线均包括可弯曲的所述线芯和包裹所述
20 线芯的所述绝缘层，所述绝缘层为可形变的弹性材料；所述导电经线和所述导电纬线以三维曲面织造方法形成所述三维曲面结构；

所述驱动通道和所述感应通道交叉重叠处形成所述电容节点；所述电容节点用于与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近；且所述电容节点用于在压力导致所述绝缘层变形时，检测压力值。

在其中一个实施例中，每个所述驱动通道的导电经线的数量相等；

25 及/或，每个所述感应通道的导电纬线的数量相等。

在其中一个实施例中，所述导电经线为可更换结构；及/或，所述导电纬线为可更换结构。

在其中一个实施例中，所述绝缘层的材料为硅胶或聚四氟乙烯。

在其中一个实施例中，还包括集成芯片，所述驱动通道和所述感应通道分别与所述集成芯片通信连接。

上述三维曲面电容传感器及其织造方法，导电经线和导电纬线通过三维曲面织造方法形成三维曲面结构，结构简单且韧性强。该电容传感器在扭曲或拉扯中不易损坏，适用于需要覆盖大面积的场景，且适合应用在柔性可穿戴设备中。三维曲面电容传感器可以精确覆盖被检测的目标，传感信号可以呈阵列式分布，使得检测精准。上述织造方法使得电容传感器能够准确贴合目标的曲面，实现传感信号在三维空间中的精确映射。通过上述织造方法中生成的控制命令，实现合理的梭织路径规划，使得导电纬线的分布既能满足梭织的连续性，又能保证每个传感单元均匀分布。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他实施例的附图。

图 1 为一实施例中三维曲面电容传感器的示意图；

图 2 为图 1 所示三维曲面电容传感器的导电经线和导电纬线的截面图；

图 3 为一实施例中柔性可穿戴设备的示意图；

图 4 为一实施例中三维曲面电容传感器的织造方法的流程图；

图 5 为图 4 所示织造方法中三维曲面网格在一实施例中的示意图；

图 6 为图 4 所示织造方法中步骤 S340 在一实施例中的流程图；

图 7 为图 4 所示织造方法中目标三维物体在一实施例中的示意图；

图 8 为图 7 所示织造方法中织造图 A 的示意图；图 9 为图 7 所示织造方法中织造图 B 的示意图；

图 10 为图 7 所示织造方法中织造图 C 的示意图；

图 11 为图 7 所示织造方法中织造图 D 的示意图；

图 12 为图 4 所示织造方法中步骤 S340 在另一实施例中的流程图；

图 13 为图 12 所示织造方法的一实施例中的三维曲面网格的标量场的示意图；

图 14 为图 13 所示织造方法中可梭织四边形网格的示意图；

图 15 为图 14 所示织造方法所织造的三维曲面电容传感器的实物图。

5

具体实施方式

为了便于理解本发明，下面将参照相关附图对三维曲面电容传感器及其织造方法进行更全面的描述。附图中给出了三维曲面电容传感器及其织造方法的首选实施例。但是，三维曲面电容传感器及其织造方法可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使
10 对三维曲面电容传感器及其织造方法的公开内容更加透彻全面。

除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域
的技术人员通常理解的含义相同。本文中在三维曲面电容传感器及其织造
方法的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在
15 限制本发明。本文所使用的术语“及 / 或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

如图 1 所示，一实施方式中的三维曲面电容传感器 100 包括驱动通道 120
和感应通道 140，所述驱动通道 120 包括一个或多个并联的导电经线 122，所述
感应通道 140 包括一个或多个并联的导电纬线 142。

同时参见图 2，所述导电经线 122 和所述导电纬线 142 均包括可弯曲的线芯
162 和包裹所述线芯 162 的绝缘层 164，所述绝缘层 164 为可形变的弹性材料；
所述导电经线 122 和所述导电纬线 142 以三维曲面织造方法形成三维曲面结构；
所述驱动通道 120 和所述感应通道 140 交叉重叠处形成电容节点 180；所述电容
节点 180 用于与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近；且所述电容节点 180
20 用于在压力导致所述绝缘层 164 变形时，检测压力值。通过标定静态电容值与
实时电容值进行比较，可以得到是否有生物接近或者有外力作用。三维曲面结
构的电容传感器 100 可以精确覆盖被检测的目标，传感信号可以呈阵列式分布，
使得检测精准。

说明书

具体的，每一条感应通道 140 与驱动通道 120 由于相互之间绝缘且因为梭织结构相互交错形成电容效应，即驱动通道 120 作为电极板正极，感应通道 140 作为电极板负极，形成电容节点 180。该电容节点 180 能够与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近；当生物，例如人手接近时，生物体与导电纬线 142 之间产生寄生电容，该电容将会分流电容节点 180 的电荷，从而使芯片检测到的电容值降低。电容节点 180 还用于在压力导致绝缘层 164 变形时，检测压力值。当有外力作用在电容传感器 100 表面时，由于包裹在导电经线 122 和导电纬线 142 外的绝缘层 164 具有弹性，在按压时发生形变，电容节点 180 的板间距离降低，导致电容值上升，从而检测到压力的大小。

10 导电经线 122 和导电纬线 142 形成梭织结构，结构简单且韧性强。该电容传感器 100 在扭曲或拉扯中不易损坏，适用于需要覆盖大面积的场景，以及应用在柔性可穿戴设备 10 中。该梭织结构可以基于传统梭织加工方法进行加工制造。在传统梭织制造过程中，由不同方向的驱动通道 120 与感应通道 140 相互交错得到梭织品。在一实施例中，所述导电经线 122 和所述导电纬线 142 可以互相垂直，从容方便制造，且结构稳固。在其他实施例中，所述导电经线 122 和所述导电纬线 142 也可以不垂直，以实现织造立体结构等目的。

在一实施例中，导电经线 122 和导电纬线 142 均可以是可更换结构。由于导电经线 122 和导电纬线 142 是通过梭织方式连接的，无需其他固定连接的结构，因此可以替换。如果部分导电经线 122 或者导电纬线 142 损坏，只需要更换损坏的结构，无需整体替换，可以在维修时节约成本。

绝缘层 164 的材料为可形变的弹性材料，在本具体实施例中，所述绝缘层 164 的材料为硅胶。硅胶外壳可以使导电经线 122 和导电纬线 142 是成为细软的导线，从而作为编织材料。在另一实施例中，所述绝缘层 164 的材料可以用聚四氟乙烯等其他绝缘层材料，该聚四氟乙烯材料可以是商标为铁氟龙的聚四氟乙烯材料。不同材料表现出不同弹性特质，越硬的材料力检测灵敏度越低，但量程越大。在其他实施例中，绝缘层 164 的材料也可以是能达到类似软硬度、回弹性和绝缘性的橡胶或热塑性弹性体等。

同时参见图 3，在其中一个实施例中，每个所述驱动通道 120 的导电经线

122 的数量可以相等,每个所述感应通道 140 的导电纬线 142 的数量也可以相等。将导电经线 122 平均分为若干个通道,每个感应通道 140 的导电经线 122 数量一致,之后在编织导电纬线 142 时每编织数根后形成一个驱动通道 120。每个通道的长与宽由通道的导电经线 122 或者导电纬线 142 数目决定,由此形成垂直相交的感应网格。导电经线 122 和/或导电纬线 142 的数量保持相同可以保证传感器密度处处均匀,但对于特殊需求,比如某些需要高密度传感的区域可以用更少的导电经线 122 和/或导电纬线 142 的数量,从而有更多的驱动通道 120 和/或感应通道 140,得到更高分辨率的数据。在其他实施例中,每个所述驱动通道 120 的导电经线 122 的数量可以不相等,每个所述感应通道 140 的导电纬线 142 的数量也可以不相等。

在通常情况下,每个所述驱动通道 120 的导电经线 122 的数量和每个所述感应通道 140 的导电纬线 142 的数量均为多个。在图 1 所示的实施例中,该数量均为 3 个。在其他实施例中,也可以为 2-6 个。在一实施例中,该数量也可以为一根,在此情况下,检测密度的尺寸限制在于单根导电经线 122 和/或导电纬线 142 的尺寸。

具体的,参见图 1,在一实施例中,相邻的两个所述导电经线 122 分别位于同一个所述导电纬线 142 的两侧,且相邻的两个所述导电纬线 142 分别位于同一个所述导电经线 122 的两侧,从而形成规则且均匀的网格图案。各个交叉点的结构一致,使得测量更准确。在一实施例中,所述导电经线 122 和所述导电纬线 142 以平纹组织方式梭织为一体。平纹组织导电经线 122 和导电纬线 142 的交织点最多,纱线屈曲多,所以其织物布面平坦,身骨挺括,质地坚牢,外观紧密,结构强度佳。在其他实施例中,所述导电经线 122 和所述导电纬线 142 的组织形式也可以是斜纹组织或者缎纹组织。

在其中一个实施例中,电容传感器 100 还可以包括集成芯片,所述驱动通道 120 和所述感应通道 140 分别与所述集成芯片通信连接。集成芯片会扫描每一个电容节点 180 并计算电容值。在其他实施例中,电容传感器 100 也可以与外部的芯片结合,实现扫描电容节点 180 的目的。

参见图 3,本申请的实施方式还提供一种柔性可穿戴设备 10,该柔性可穿

说明书

戴设备 10 包括设备本体 200 和上述实施例中的电容传感器 100，所述电容传感器 100 设置在所述设备本体 200 上，与所述设备本体 200 通信连接。柔性可穿戴设备 10 可以是发带、腕带、背心或其他可穿戴的设备。

梭织结构的设计使得电容传感器 100 具备柔性和可穿戴性，能够适应不同的身体部位和运动。三维曲面的电容传感器 100 可以精确覆盖被检测的目标。电容传感器 100 通过测量电容值的变化来检测生物体的接近，并将其转化为接近距离数据。传感信号可以呈阵列式分布，使得检测精准。同时，梭织结构的特点还使得传感器能够灵敏地感知传感器表面的受力，并量化受力的大小程度。电容传感器 100 可以与现有的电子设备和系统集成，实现实时监测和数据传输，使其在生物医学、运动分析、人机交互等领域具有广泛的应用前景。上述实施例中的传感器还可覆盖于工业机械表面，例如工业机械臂，使机械拥有多一维度的感知功能，实现智能工业下的人机互动。

参见图 4，本申请的实施方式还提供了一种三维曲面电容传感器 100 的织造方法，上述织造方法包括如下步骤：

S320，将三维曲面电容传感器 100 的形状建模为三维曲面网格。

S340，将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息。

S360，以织造信息生成控制命令，以导电经线 122 和导电纬线 142 作为织物织造三维曲面电容传感器 100。

导电经线 122 和导电纬线 142 均包括可弯曲的线芯 162 和包裹线芯 162 的绝缘层 164，绝缘层 164 为可形变的弹性材料。

在一实施例中，控制命令包括可以包括初始命令、辊子命令、提花命令、织造指令和结束命令。初始命令用于将织造装置的部件移动到预定位置。辊子命令用于根据织造图 C 控制辊子矩阵。提花命令根据织造图 D 控制提花装置。织造指令用于控制织造装置将导电纬线 142 带入由提花装置形成的梭口，并将导电纬线 142 编织在导电经线 122 上。结束命令用于控制滚轮矩阵以预先设定的长度释放缠绕线程。控制命令包含的是织造过程中工作流水线需要的命令。

S380，一个或多个导电经线 122 并联形成驱动通道 120，一个或多个导电纬线 142 并联形成感应通道 140。

说明书

驱动通道 120 和感应通道 140 交叉重叠处形成电容节点 180。电容节点 180 用于与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近。且电容节点 180 用于在压力导致绝缘层 164 变形时，检测压力值。

5 步骤 S320 提供了一种网格处理策略，将所需的三维形状重建为三维曲面网格。所需的三维形状是该方法的输入，三维曲面网格是后续步骤的可用网格类型。在一个实施例中，三维曲面网格的每个单元具有相同的尺寸。步骤 S340 提供了一种织造图的提取方法。为满足织造装置的要求，该步骤将织造信息转换为织造装置可读的行间连续织造图。具备织造图之后，在 S360 步骤中，就可以生成最终的控制命令，用于控制织造装置进行相应的操作。

10 在一实施例中，参见图 5，三维曲面网格可以具有均匀的网格单位。每个网格单元的长度等于相邻导电经线 122 之间的间隙，每个网格单元的宽度等于相邻导电纬线 142 之间的间隙。单位的形状可以是矩形、三角形或平行四边形。在收敛区域允许三角形单元。

具体的，参见图 6，在一实施例中，步骤 S340 可以包括如下步骤：

15 S342，将三维曲面网格分解为二维的织造图 A。

S344，将织造图 A 的行数加倍，然后通过角落加减网格保持连续性，形成织布图 B。

S346，由织造图 B 生成织造图 C，以表示导电经线 122 的进给速率。

20 S348，由织造图 B 生成织造图 D，以说明提花装置选择要提升的导电经线 122。

其中，织造信息包括织造图 C 和织造图 D。步骤 S346 和 S348 的顺序可以改变。

25 在一实施例中，通过步骤 S340 将图 7 所示的目标三维物体重建为三维曲面网格。图 8-11 示出了整个转换过程中生成的四张织造图描述了不同的状态，即织造图 A-D。

参考图 8，在步骤 S342 中，将三维曲面网格分解为二维的织造图 A。有效的线段用灰色标记，无效的网格用叉形标记。三维曲面网格的山状三维曲面可以通过切割曲面的侧面扩展成一个平面。根据织造单元的大小，可将平面转换

成网格，称为织造图 A。

参考图 9，在步骤 S344 中，通过在编织过程中考虑连续性，连续地将每一行的织造图分为两行，获得织造图 B。为了保持整个织造图的行间连续性，首先将织造图 A 中的行数加倍，然后在边角处增减网格，形成新的织造图 B。

5 参考图 10，在一个实施例中，在 S346 的步骤中，将织造图 B 以最后一行作为参考从底部向顶部转换。织造图 C 中每个网格的状态用值 W 表示， $W=1$ 表示填充状态， $W<1$ 表示空状态。如果织造图 B 中对应的网格为空，则织造图 C 中的网格也将为空，且 W 为 -1。如果参考行中的网格为空，则织物将收缩以消除调整导电纬线 142 长度后产生的空隙，这是在调整导电经线 122 长度后进行的。S 表示收缩的长度， $S=1-W$ ，同一行中所有网格的值都会加上 S。由织造图 B 生成织造图 C，以表示导电经线 122 的进给速率。灰色的缝线是有效的(+1)，
10 而其他缝线是无效的，对应的值为负值。

参考图 11，可以通过在织造图 B 的右侧增加一列并使相邻的针迹无效而生成织造图 D。生成织造图 D 的目的是为了保证织造装置的提花机能够正确的选择提花线。一列对应两个相邻的导电经线 122。对于一个有效网格，两个相邻的导电经线 122 中的一个升高以形成棚，而一个无效网格的两个相邻的导电经线 122 应该下降。因此，在织造图 D 中还有一列，每一列对应一条导电经线 122。对于该有效网格，有一个相邻的导电经线 122 升高，而对于无效网格，在将织造图 B 转换为织造图 D 时，两个相邻的导电经线 122 都降低。上述织造方法使
15 得电容传感器 100 能够准确贴合目标的曲面，实现传感信号在三维空间中的精确映射。通过上述织造方法中生成的控制命令，实现合理的梭织路径规划，使得导电纬线 142 的分布既能满足梭织的连续性，又能保证每个传感单元均匀分布。
20

参见图 12，在另一实施例中，三维曲面电容传感器的织造方法中通过将三维自由曲面降维得到二维梭织路径，这一技术在本实施方式中进一步进行了优化，可以得到既能满足梭织连续性又能保证每个传感单元均匀分布的梭织路径，从而保障能够织造出可覆盖三维自由曲面的柔性传感器阵列。具体的，在本实施例中步骤 S340 包括如下步骤：
25

S352, 在三维曲面网格上设定梭织起点。一个有边界的网格一般存在一部分边缘, 在一实施例中, 可以将这一部分边缘作为起点。参见图 13, 在一实施例中, 梭织起点在图中柱状体的底部边缘。建模的三维曲面电容传感器的形状可以是如图 13 所示的中间细两端款的圆柱体的曲面, 也可以是任意有边界的曲面。

S354, 根据三维曲面网格上所有位置相对于梭织起点的测地距离, 生成标量场。其中, 标量场的示意图可以参见图 13。标量场是一种测地距离场(Geodesic distance field), 标记了曲面上每一个点到起点的最短路径。在一实施例中, 可以根据迪克斯特拉(Dijkstra)算法获得三维曲面网格上所有位置相对于梭织起点的测地距离, 从而生成连续扩散的标量场。

S356, 根据预设的间隔量, 在标量场上提取等高线。在均一化之后, 可以通过确定间隔量, 将网格分为若干份并提取等高线。例如以 0.1 作为间隔量, 可以获得 10 份, 提取 11 条等高线。

S358, 以等高线为插入导电经线的位置, 重建三维曲面网格, 生成可梭织四边形网格。其中, 可梭织四边形网格的经纬线均为连续的。上述的织造信息在本实施例中即为可梭织四边形网格。

可梭织四边形网格是可梭织的, 具体指的是纬线从一处(例如图 14 中的左下角)作为起点, 通过向另一端的不断穿插, 可以一根线走完整个网格, 参考一笔画的原理。

在一实施例中, 三维曲面电容传感器的织物还可以包括普通纱线。可以将等高线作为插入导电经线的位置, 并规划普通纬线在每一条等高线之间的分布, 从而实现导电通道的均匀分布。参见图 14, 在本实施例中, 等高线为横线的线条, 可梭织四边形网格为图中的细密的网格。

在其中一个实施例中, 三维曲面网格可以通过三角面片构建的网格文件, 为三角形网格。这种拓扑结构能够提供顶点、边和面的信息, 网格上的点是测地场数值的载体, 每个点都有一组数值。由于测地场记录的是最短路径, 因此通过测地场的分割可以将网格分成均匀宽度的条状。

可梭织四边形网格是四边形的, 将三角形网格提取测地场后, 把三角形网

说明书

格进行重建，转化为一个四边形网格，这种网格的好处在于，其能够跟梭织单元一一对应（每一个四边形就是两条经纬交叉），能够获取纬线的编制路径。因此，织造信息即可以是步骤 S358 生成的可梭织四边形网格。

图 15 上述实施例所述织造方法所织造的三维曲面电容传感器的实物图。通过步骤 S352-S358 的改进，保证每个条状区域都是连续可梭织，可以得到既能满足梭织连续性又能保证每个传感单元均匀分布的梭织路径，从而可以织造出能够覆盖三维自由曲面的柔性传感器阵列。以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权 利 要 求 书

1、一种三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，包括如下步骤：

将三维曲面电容传感器的形状建模为三维曲面网格；

将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息；

5 以所述织造信息生成控制命令，以导电经线和导电纬线作为织物织造所述三维曲面电容传感器；所述导电经线和所述导电纬线均包括可弯曲的线芯和包裹所述线芯的绝缘层，所述绝缘层为可形变的弹性材料；以及

一个或多个所述导电经线并联形成驱动通道，一个或多个所述导电纬线并联形成感应通道；所述驱动通道和所述感应通道交叉重叠处形成电容节点；所述电容节点用于与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近；且所述电容节点
10 用于在压力导致所述绝缘层变形时，检测压力值。

2、根据权利要求1所述的三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，所述将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息的步骤包括：

在所述三维曲面网格上设定梭织起点；

15 根据所述三维曲面网格上所有位置相对于所述梭织起点的测地距离，生成标量场；

根据预设的间隔量，在所述标量场上提取等高线；以及

20 以所述等高线为插入所述导电经线的位置，重建所述三维曲面网格，生成可梭织四边形网格；所述可梭织四边形网格的经纬线均为连续的；所述织造信息为所述可梭织四边形网格。

3、根据权利要求2所述的三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，在所述根据所述三维曲面网格上所有位置相对于所述梭织起点的测地距离，生成标量场的步骤中，根据迪克斯特拉算法获得所述三维曲面网格上所有位置相对于所述梭织起点的测地距离，从而生成连续扩散的所述标量场。

4、根据权利要求2所述的三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，
25 所述三维曲面网格为通过三角面片构建的网格文件。

5、根据权利要求1所述的三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，所述将三维曲面网格转换为织造装置可读的织造信息的步骤包括：

将所述三维曲面网格分解为二维的织造图A；

权 利 要 求 书

将织造图 A 的行数加倍，然后通过角落加减网格保持连续性，形成织布图 B；

由所述织造图 B 生成织造图 C，以表示经线的进给速率；

由所述织造图 B 生成织造图 D，以说明提花装置选择要提升的经线；

5 其中，所述织造信息包括所述织造图 C 和所述织造图 D。

6、根据权利要求 5 所述的三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，所述由所述织造图 B 生成织造图 C，以表示经线的进给速率的步骤中，将所述织造图 B 以最后一行作为参考从底部向顶部转换；所述织造图 C 中每个网格的状态用值 W 表示， $W=1$ 表示填充状态， $W<1$ 表示空状态；如果织造图 B 中对应的网格为空，则织造图 C 中的网格也将为空，且 W 为 -1；如果参考行中的网格为空，则织物将收缩以消除调整纬线长度后产生的空隙；S 表示收缩的长度， $S=1-W$ ，同一行中所有网格的值都会加上 S。

7、根据权利要求 1 所述的三维曲面电容传感器的织造方法，其特征在于，所述三维曲面网格具有均匀的网格单位；每个网格单元的长度等于相邻经线之间的间隙，每个网格单元的宽度等于相邻纬线之间的间隙。

8、一种三维曲面电容传感器，所述三维曲面电容传感器根据权利要求 1-7 中任一项所述的三维曲面电容传感器的织造方法的织造而成；其特征在于，所述三维曲面电容传感器包括所述驱动通道和所述感应通道；所述驱动通道包括一个或多个并联的所述导电经线；所述感应通道包括一个或多个并联的所述导电纬线；

其中，所述导电经线和所述导电纬线均包括可弯曲的所述线芯和包裹所述线芯的所述绝缘层，所述绝缘层为可形变的弹性材料；所述导电经线和所述导电纬线以三维曲面织造方法形成所述三维曲面结构；

所述驱动通道和所述感应通道交叉重叠处形成所述电容节点；所述电容节点用于与生物体形成寄生电容，以检测生物体接近；且所述电容节点用于在压力导致所述绝缘层变形时，检测压力值。

9、根据权利要求 8 所述的三维曲面电容传感器，其特征在于，所述导电经线为可更换结构；及/或，所述导电纬线为可更换结构。

权 利 要 求 书

10、根据权利要求 8 所述的三维曲面电容传感器，其特征在于，所述绝缘层的材料为硅胶或聚四氟乙烯。

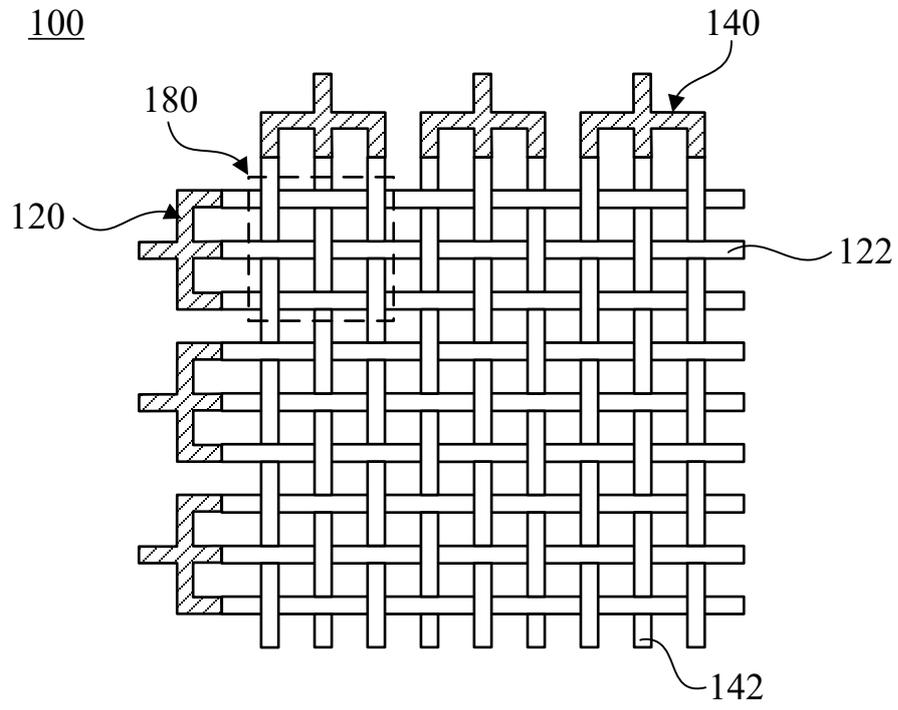


图 1

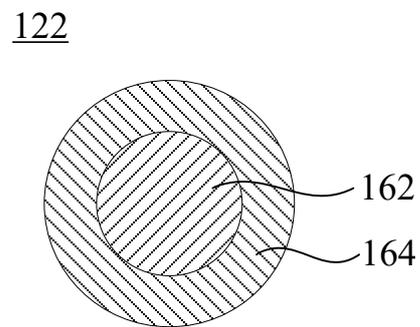


图 2

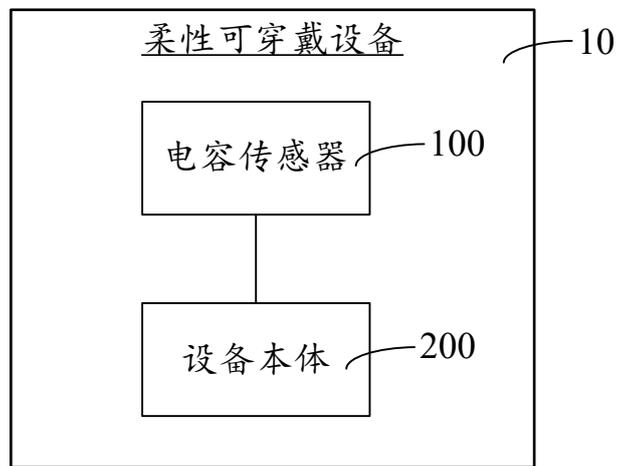


图 3

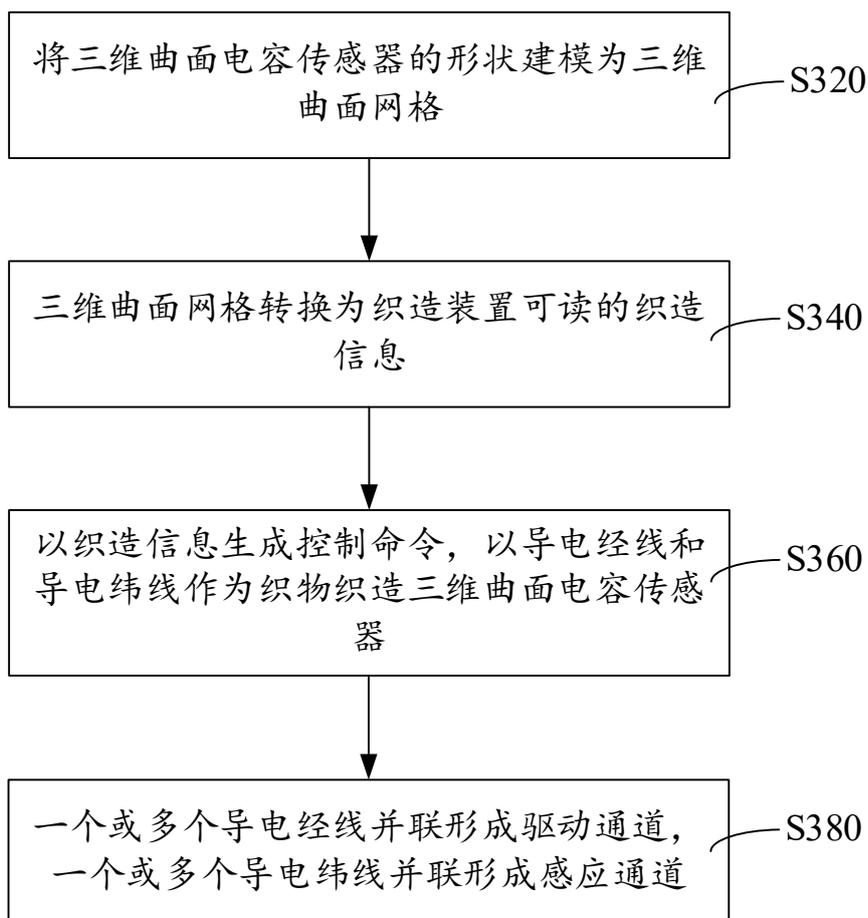


图 4

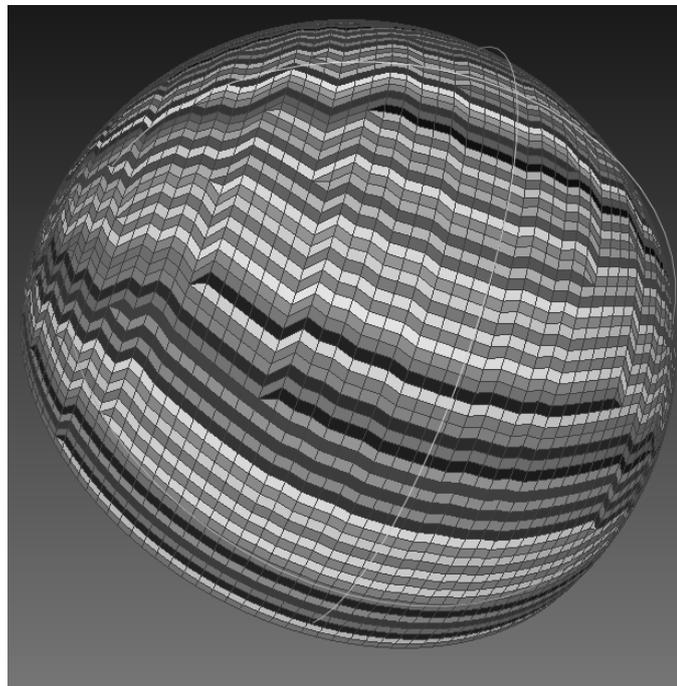


图 5

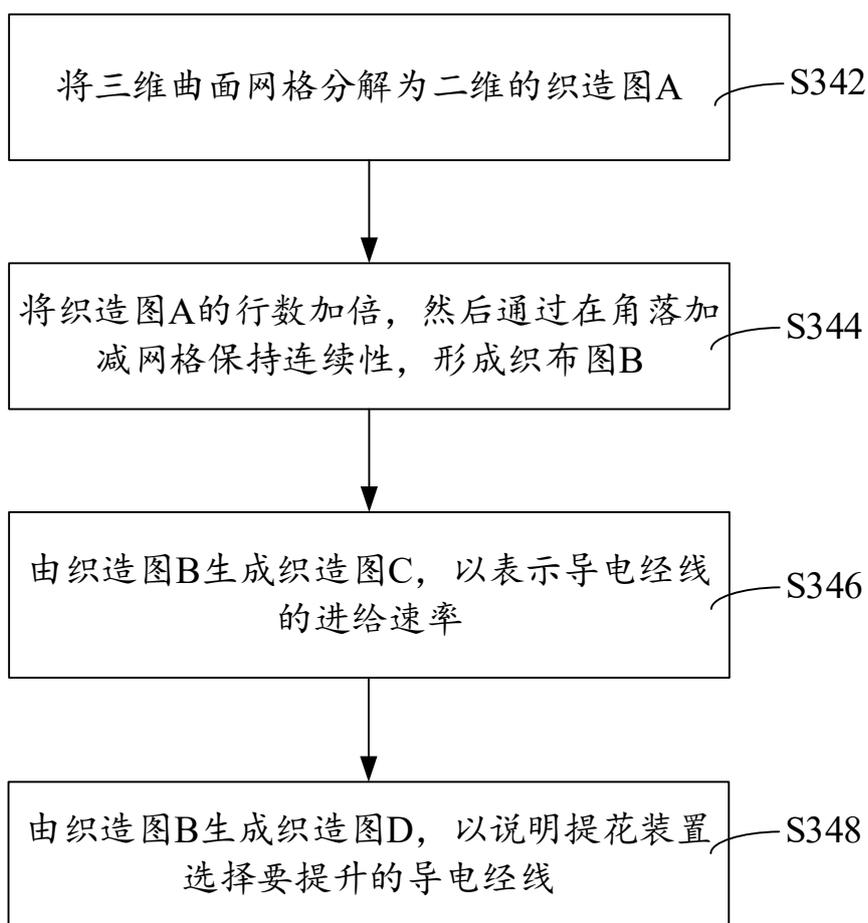


图 6

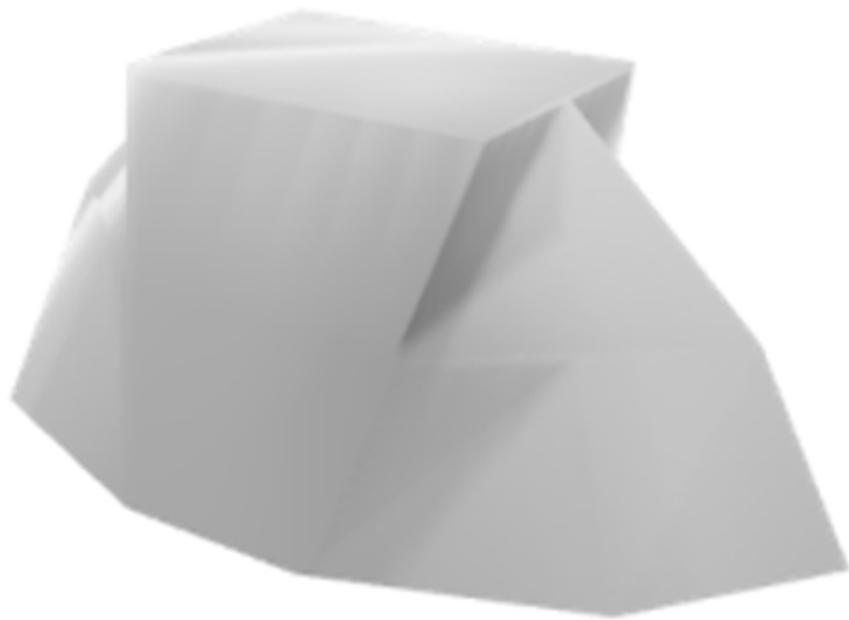


图 7

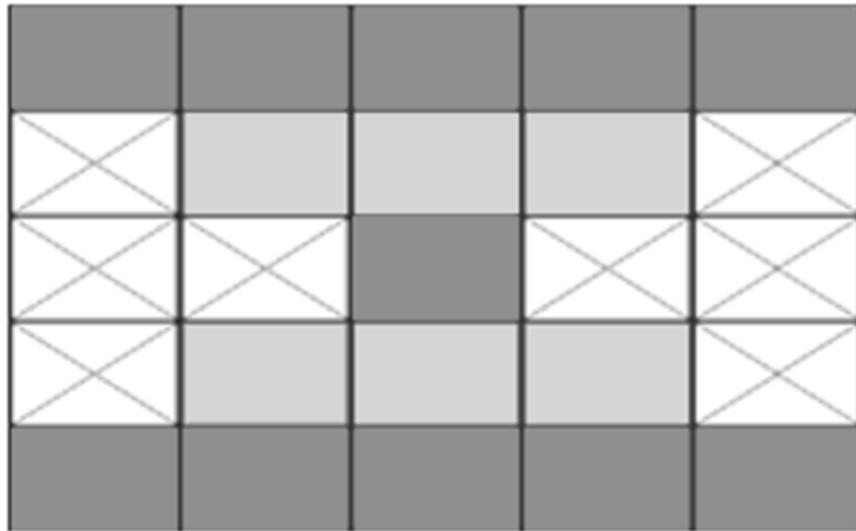


图 8

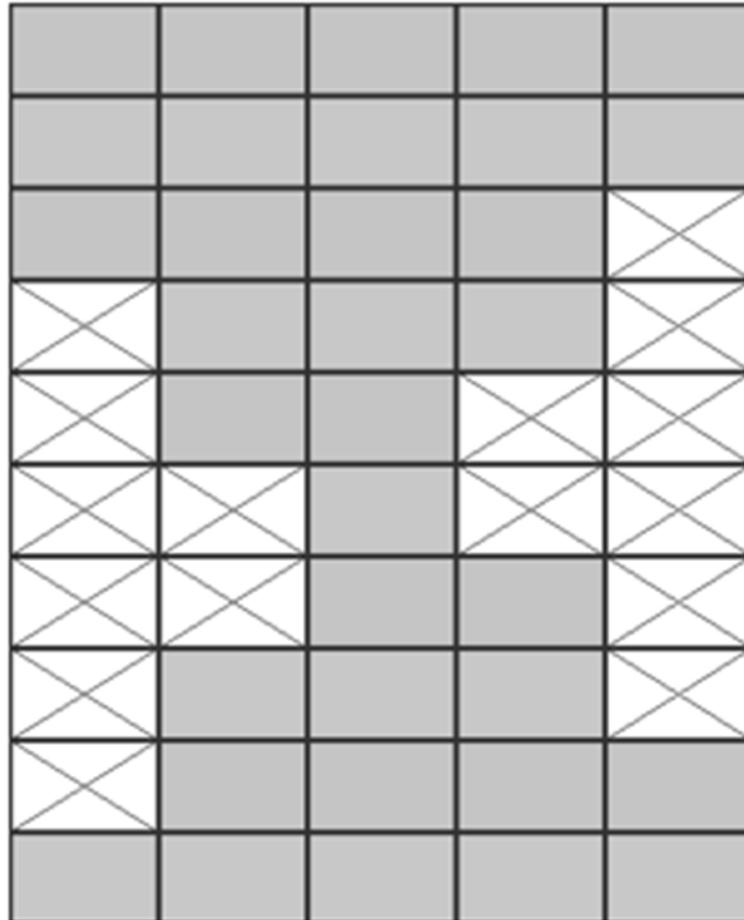


图 9

-3				-2
-2				-1
-3	-1		0	-2
-2	0			-1
-1				0
0				

图 10

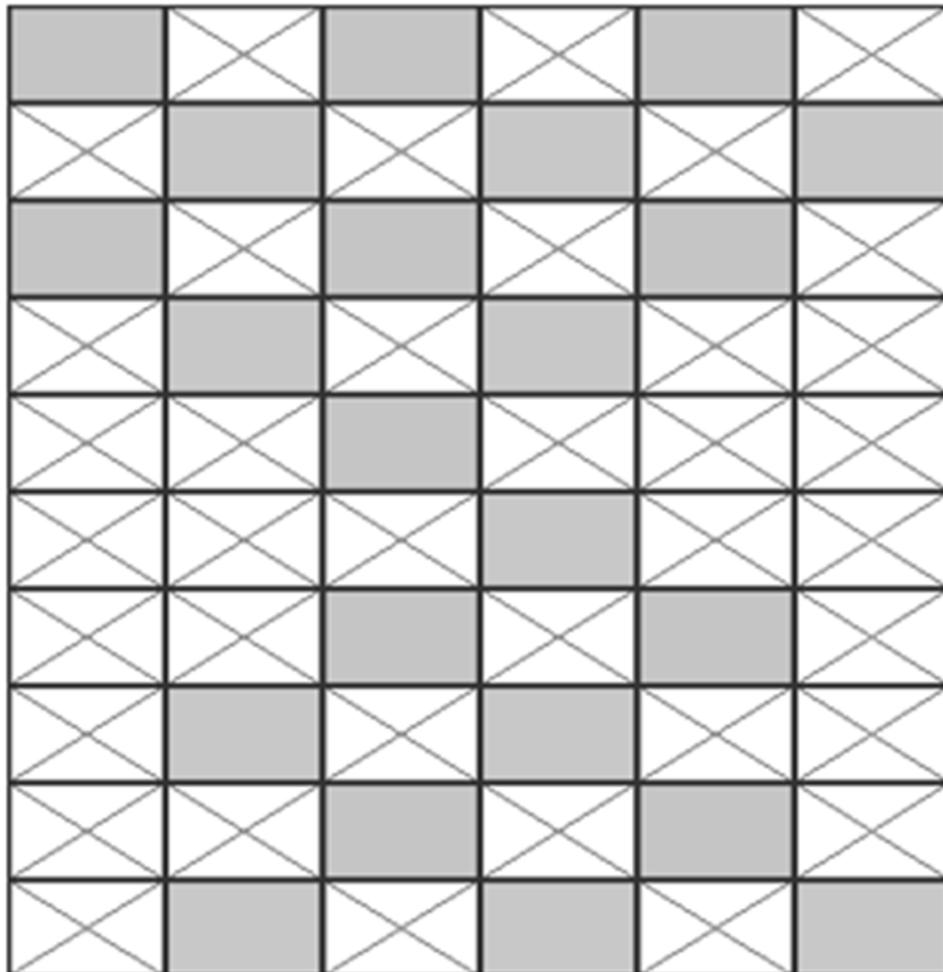


图 11

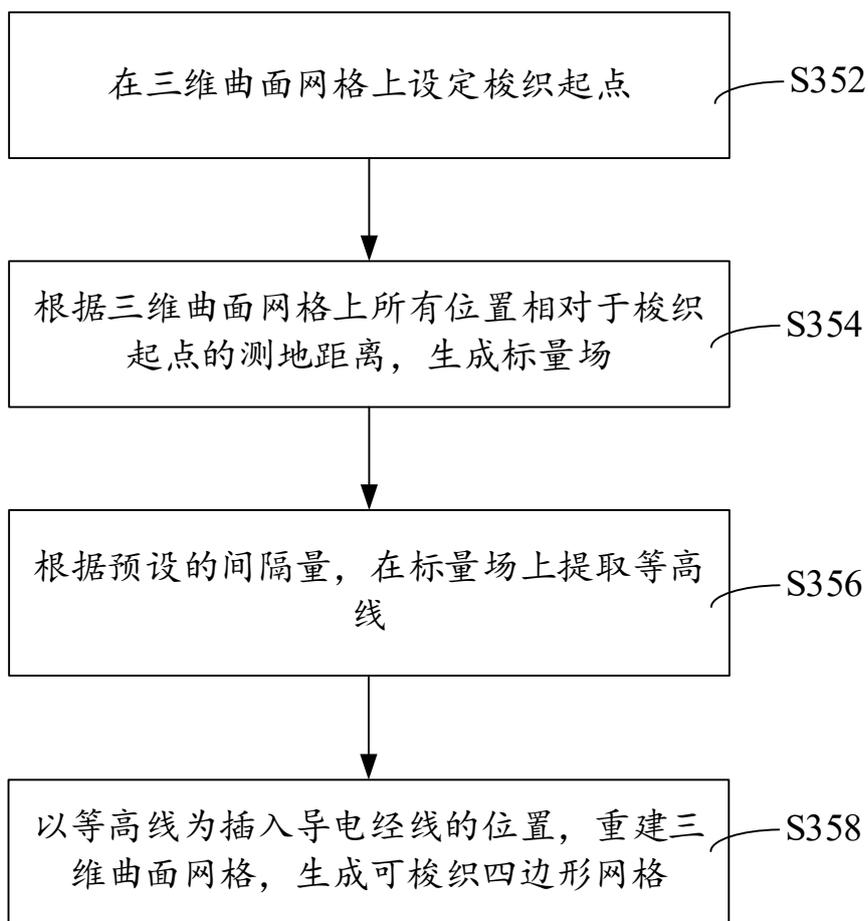


图 12

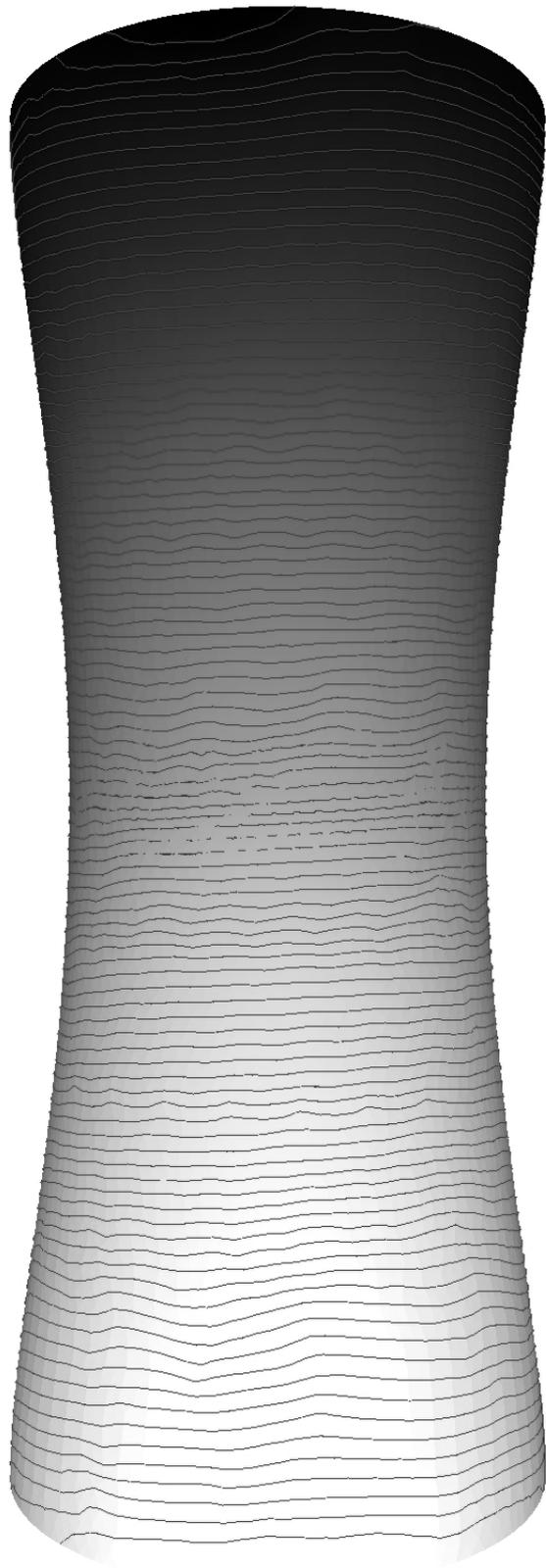


图 13

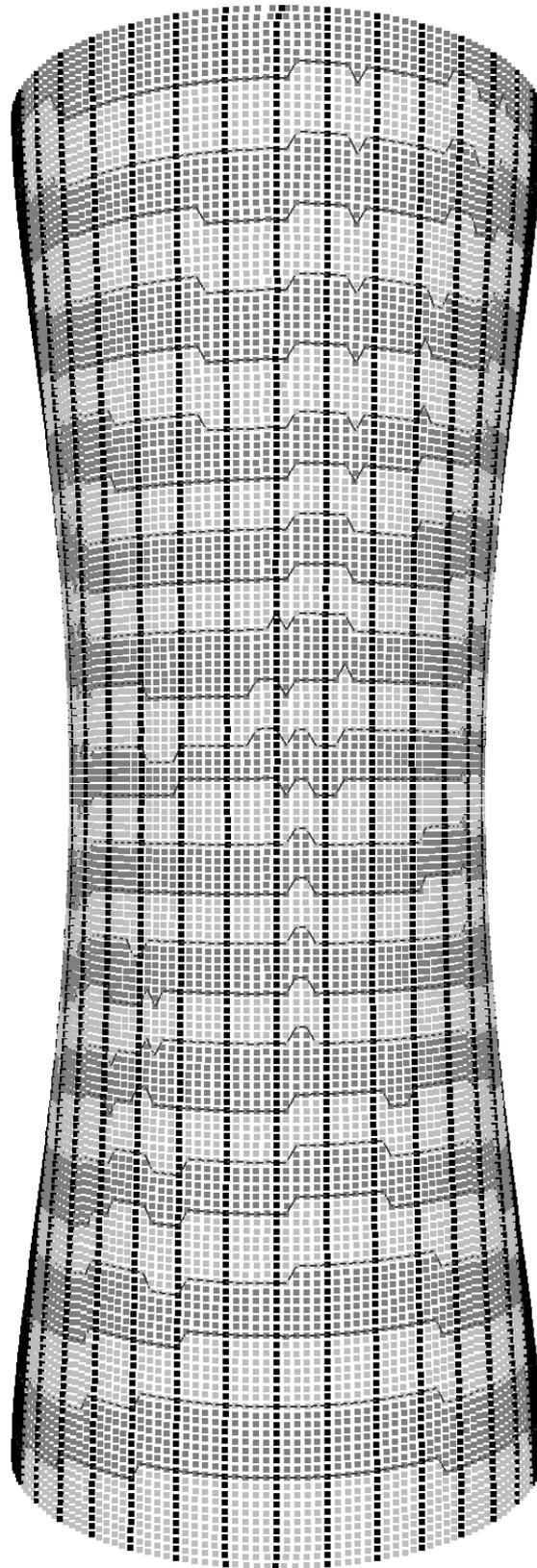


图 14

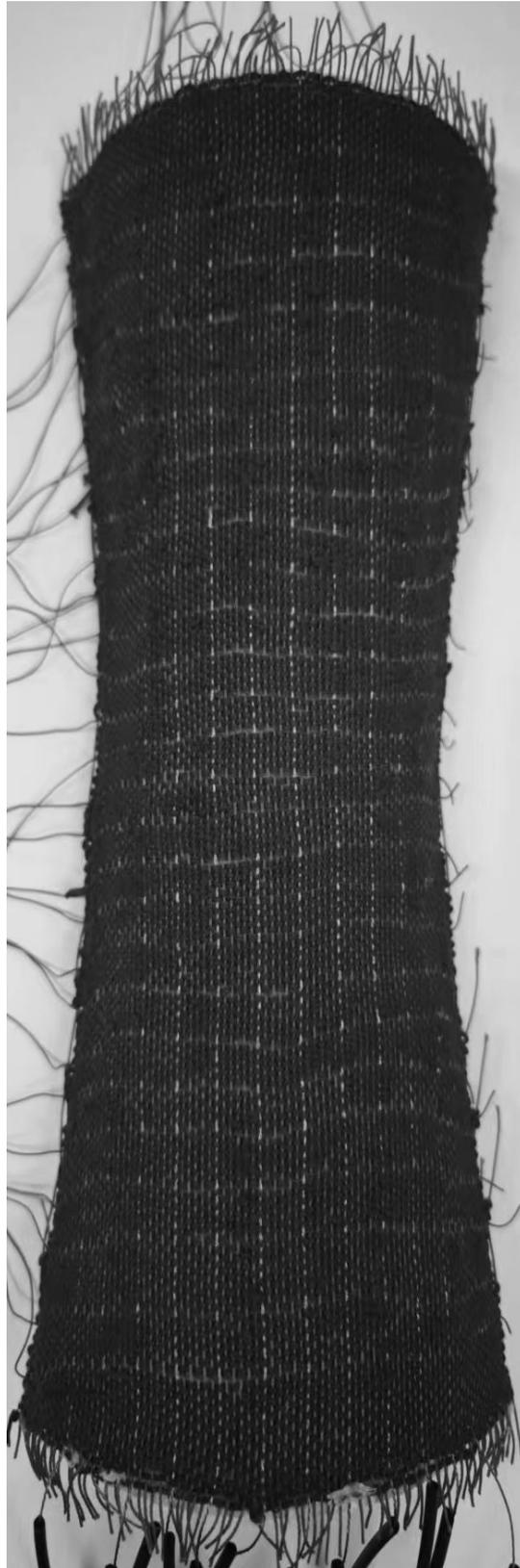


图 15