

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 11 月 22 日 (22.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/209791 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 17/10 (2006.01) **G01B 13/16** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/093512
- (22) 国际申请日: 2017 年 7 月 19 日 (19.07.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710358109.6 2017年5月19日 (19.05.2017) CN
- (71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国山东省济南市历城区山大南路27号, Shandong 250100 (CN)。
- (72) 发明人: 陈宝权 (CHEN, Baoquan); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号, Shandong 250101

(CN)。 丹尼尔科恩·奥尔 (DANIEL, Cohen-or); 以色列赫德哈斯隆市厄拉扎尔大街 3 号, Hod Hasharon 17383 (IL)。 菲尔·艾伯曼 (KFIR, Aberman); 以色列扎法特市依比库尔大街403/1号, Zefat 13531 (IL)。 奥伦·卡齐尔 (OREN, Katzir); 以色列阿特里特市海尔高兹大街26号, Atlit 17453 (IL)。 周强 (ZHOU, Qiang); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号, Shandong 250101 (CN)。 罗泽刚 (LUO, Zegang); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号, Shandong 250101 (CN)。 安德雷·沙夫 (ANDREI, Sharf); 以色列拉阿纳纳市杜克海法特大街17号, Raanana 45382 (IL)。 陈·格列佛 (CHEN, Greif); 加拿大不列颠哥伦比亚温哥华市主商大街201-2366不列颠哥伦比亚大学计算机系, British Columbia V6T1Z4 (CA)。

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR RECONSTRUCTING SHAPE OF 3D OBJECT

(54) 发明名称: 一种3D物体形状的重构方法及系统

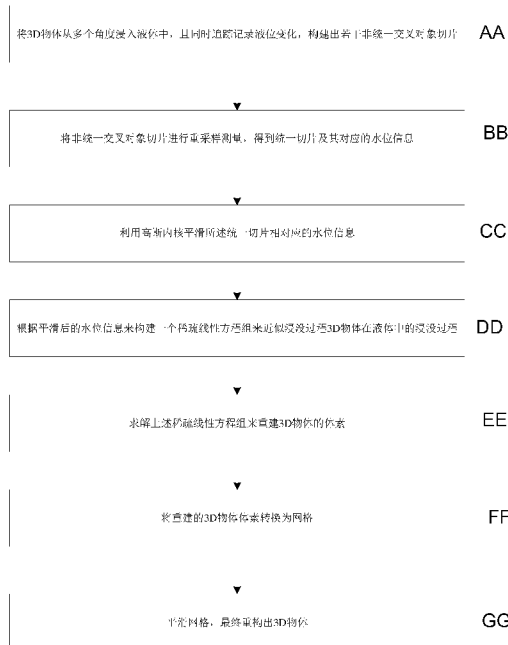


图 1

- AA Immerse a 3D object into a liquid from multiple angles, and simultaneously track and record changes in liquid level to construct several non-uniform cross subject slices
- BB Perform resampling measurement on the non-uniform cross subject slices to obtain uniform slices and liquid level information corresponding thereto
- CC Use a Gaussian kernel to smoothen the liquid level information corresponding to the uniform slices
- DD Construct a sparse linear equation system according to the smoothened liquid level information to approximate an immersion process of the 3D object in the liquid during immersion
- EE Solve the sparse linear equation system to reconstruct a voxel of the 3D object
- FF Convert the reconstructed 3D object voxel into a grid
- GG Smoothen the grid to finally reconstruct the 3D object

(57) Abstract: A method and system for reconstructing the shape of a 3D object. The method comprises: immersing a 3D object into a liquid from multiple angles, and simultaneously tracking and recording changes in liquid level to construct several non-uniform cross subject slices; performing resampling measurement on the non-uniform cross subject slices to obtain uniform slices and liquid level information corresponding thereto; using a Gaussian kernel to smoothen the liquid level information corresponding to the uniform slices; constructing a sparse linear equation according to the smoothened liquid level information to approximate an immersion process

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国山东省济南市历下区经十路17703号华特广场B308, Shandong 250061 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

of the 3D object in the liquid during immersion; solving the sparse linear equation system to reconstruct a voxel of the 3D object; converting the reconstructed 3D object voxel into a grid; and smoothening the grid to finally reconstruct the 3D object.

(57) 摘要: 一种3D物体形状的重构方法及系统, 其中该方法, 包括: 将3D物体从多个角度浸入液体中, 且同时追踪记录液位变化, 构建出若干非统一交叉对象切片; 将非统一交叉对象切片进行重采样测量, 得到统一切片及其对应的水位信息; 利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息; 根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程3D物体在液体中的浸没过程; 求解上述稀疏线性方程组来重建3D物体的体素; 将重建的3D物体体素转换为网格; 平滑网格, 最终重构出3D物体。

一种 3D 物体形状的重构方法及系统

技术领域

本发明属于 3D 物体形状重构领域，尤其涉及一种 3D 物体形状的重构方法及系统。

背景技术

当前的 3D 物体形状的获取和重建方法主要集中于光学扫描，但是，当 3D 物体形状包含扫描仪视线无法访问的高度或是遮挡情况下，通过光学扫描无法准确获取及重建 3D 物体。

因此，基于常规（光学）扫描仪，复杂的形状不能被适当地获取或重建。此外，一些物体由光泽或透明材料制成，这是普通光学不能处理的另一个挑战。

发明内容

为了解决现有技术的不足，本发明提供了一种 3D 物体形状的重构方法，该方法采用液体作为传感器的技术手段，针对具有闭塞部分和玻璃材质的 3D 物体，获得比传统光学扫描仪更好的扫描效果。

本发明的 3D 物体形状的重构方法，包括：

步骤 a：将 3D 物体从多个角度浸入液体中，且同时追踪记录液位变化，构建出若干非统一交叉对象切片；

步骤 b：将非统一交叉对象切片进行重采样测量，得到统一切片及其对应的水位信息；

步骤 c：利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息；

步骤 d：根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程 3D 物体在液体中的浸没过程；

步骤 e：求解上述稀疏线性方程组来重建 3D 物体的体素；

步骤 f：将重建的 3D 物体体素转换为网格；

步骤 g：平滑网格，最终重构出 3D 物体。

进一步的，在所述步骤 a 中，利用夹具将 3D 物体从多个角度浸入液体中。

本发明通过夹具来控制 3D 物体匀速下降，在下降过程中多次测量重量变换，最终在下降过程中得到多个的体积切片的体积。

进一步的，在步骤 d 之前，还包括：对夹具进行实验测试，得到平滑后的夹具的统一切片所对应的水位信息，最终得到仅有 3D 物体的平滑后的水位信息。

这样能够消除夹具步骤 a~步骤 c 的影响，最终提高了重构出的 3D 物体的精度。

进一步的，在步骤 e 中，使用 LSMR 来求稀疏线性方程组。

本发明为了利用稀疏性，使用基于 Golub-Kahan 双对角化过程的 LSMR。LSMR 迭代地

找到稀疏问题的解决方案，同时利用矩阵 **B** 的稀疏性。

进一步的，在步骤 **f** 中，利用等值面构造的方法将重建的 3D 物体体素转换为网格。

进一步的，在利用等值面构造的方法将重建的 3D 物体体素转换为网格的过程中，采用 **Marching Cubes** 算法逐个处理 3D 物体体素，分类出与等值面相交的立方体，采用插值计算出等值面与立方体边的交点，最终得到网格。

进一步的，得到网格的具体过程包括：

- ① 根据等值面与体素的对称关系构建一个 256 种相交关系的索引表；
- ② 提取立方体的 8 个顶点，构成一个体素并把这 8 个顶点编号；
- ③ 根据每个顶点与阈值的比较确定该顶点在面内还是面外；
- ④ 把这 8 个顶点构成的 01 串组成一个 8 位的索引值；
- ⑤ 用索引值在上边的索引表里查找对应关系，并求出与立方体每条边的点；
- ⑥ 用交点构成三角形面片或多边形面片；
- ⑦ 遍历三维图像的所有体素，重复执行②到⑥。

本发明还提供了一种 3D 物体形状的重构系统。

本发明的一种 3D 物体形状的重构系统，包括：

非统一交叉对象切片构建模块，其用于在将 3D 物体从多个角度浸入液体的过程中，同时追踪记录液位变化，构建出若干非统一交叉对象切片；

统一切片及其对应水位信息获取模块，其用于将非统一交叉对象切片进行重采样测量，得到统一切片及其对应的水位信息；

水位信息平滑模块，其用于利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息；

浸没过程近似模块，其用于根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程 3D 物体在液体中的浸没过程；

重建 3D 物体的体素模块，其用于求解上述稀疏线性方程组来重建 3D 物体的体素；

网格转化模块，其用于将重建的 3D 物体体素转换为网格；

3D 物体重构模块，其用于平滑网格，最终重构出 3D 物体。

进一步的，在非统一交叉对象切片构建模块中，利用夹具将 3D 物体从多个角度浸入液体中。

进一步的，该系统还包括夹具水位信息消除模块，其用于对夹具进行实验测试，得到平滑后的夹具的统一切片所对应的水位信息，最终得到仅有 3D 物体的平滑后的水位信息。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：

(1) 本发明采用液体作为传感器的技术手段, 针对具有闭塞部分和玻璃材质的三维物体, 获得比传统光学扫描仪更好的扫描效果。

(2) 相比传统扫描方式, 例如 CT 扫描, 结构光扫描, 经济便宜。

(3) 本发明通过夹具来控制 3D 物体匀速下降, 在下降过程中多次测量重量变换, 最终在下降过程中得到多个的体积切片的体积。

附图说明

构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解, 本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请, 并不构成对本申请的不当限定。

图 1 是本发明的 3D 物体形状的重构方法的流程图;

图 2 是本发明的 3D 物体形状的重构系统结构示意图;

图 3 (a) 是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 100dips 的重建效果图;

图 3 (b) 是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 325dips 的重建效果图;

图 3 (c) 是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 550dips 的重建效果图;

图 3 (d) 是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 775dips 的重建效果图;

图 3 (e) 是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 1000dips 的重建效果图。

具体实施方式

应该指出, 以下详细说明都是例示性的, 旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明, 本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

需要注意的是, 这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式, 而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的, 除非上下文另外明确指出, 否则单数形式也意图包括复数形式, 此外, 还应当理解的是, 当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时, 其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

图 1 是本发明的 3D 物体形状的重构方法的流程图。

如图 1 所示, 本发明的 3D 物体形状的重构方法, 包括:

步骤 a: 将 3D 物体从多个角度浸入液体中, 且同时追踪记录液位变化, 构建出若干非统一交叉对象切片。

具体地, 在所述步骤 a 中, 利用夹具将 3D 物体从多个角度浸入液体中。

在具体实施过程中, 本发明使用了一台机械臂作为夹具, 来控制物体匀速下降, 液位体积的变化使用重量传感器, 传感器在液体容器下, 将体积变化转换成重量变换, 再通过重量

变换推出体积变化。在下降过程中经过多次测量重量变换，最终这样就能在下降过程中得到很多的体积切片的体积。

本发明通过夹具来控制 3D 物体匀速下降，在下降过程中多次测量重量变换，最终在下降过程中得到多个的体积切片的体积。

步骤 b: 将非统一交叉对象切片进行重采样测量，得到统一切片及其对应的水位信息。

由于在 3D 物体下降过程中，在第 i 步，物体下降 d 个单位，并且水上升 k 个单位，但是体积片测量对应的是物体给定方向竖直 d+k 单位长度的体积。其中，i、d、k 均是正整数。

上述得到的信息为非统一交叉对象切片数据，需要对上述数据进行预处理，故将非统一用一个连续方程处理，重采样成统一形式，新采样得到的体积片的宽度都是一样的。

步骤 c: 利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息。

这样能够减少高频的噪声，最终提高重构出的 3D 物体的精度。

步骤 d: 根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程 3D 物体在液体中的浸没过程。

具体地，在步骤 d 之前，还包括：对夹具进行实验测试，得到平滑后的夹具的统一切片所对应的水位信息，最终得到仅有 3D 物体的平滑后的水位信息。

这样能够消除夹具步骤 a~步骤 c 的影响，最终提高了重构出的 3D 物体的精度。

本发明通过作用在向量化体素对象（想象成一个小格子）的旋转和求和矩阵来模拟浸渍过程。旋转矩阵表示物体的方向（因为本发明需要从各个不同的方向往下浸渍被测物体），求和矩阵 S 表示水的高度。

这样，对于每个方向（在这个方向上有一个浸入实验并得到测量数据），本发明可以用 $S * (R_{\theta}) * \text{object} = \text{measure}$ 的形式编写一组线性方程。

在本发明中，是等式的显式写作： $\{S\} * R = v$ 。

其中，S 和 R 都是在一行或相邻元素上局部作用的矩阵，进而相乘产生了一个稀疏矩阵 ($\{S\} * R$)。

步骤 e: 求解上述稀疏线性方程组来重建 3D 物体的体素。

具体地，在步骤 e 中，使用 LSMR 来求稀疏线性方程组。

本发明为了利用稀疏性，使用基于 Golub-Kahan 双对角化过程的 LSMR。LSMR 迭代地找到稀疏问题的解决方案，同时利用矩阵 B 的稀疏性。

步骤 f: 将重建的 3D 物体体素转换为网格。

具体地，在步骤 f 中，利用等值面构造的方法将重建的 3D 物体体素转换为网格。

在利用等值面构造的方法将重建的 3D 物体体素转换为网格的过程中，采用 Marching Cubes 算法逐个处理 3D 物体体素，分类出与等值面相交的立方体，采用插值计算出等值面与立方体边的交点，最终得到网格。

具体地，得到网格的具体过程包括：

- ① 根据等值面与体素的对称关系构建一个 256 种相交关系的索引表；
- ② 提取立方体的 8 个顶点，构成一个体素并把这 8 个顶点编号；
- ③ 根据每个顶点与阈值的比较确定该顶点在面内还是面外；
- ④ 把这 8 个顶点构成的 01 串组成一个 8 位的索引值；
- ⑤ 用索引值在上边的索引表里查找对应关系，并求出与立方体每条边的点；
- ⑥ 用交点构成三角形面片或多边形面片；
- ⑦ 遍历三维图像的所有体素，重复执行②到⑥。

步骤 g：平滑网格，最终重构出 3D 物体。

其中，图 3（a）是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 100dips 的重建效果图；

图 3（b）是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 325dips 的重建效果图；

图 3（c）是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 550dips 的重建效果图；

图 3（d）是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 775dips 的重建效果图；

图 3（e）是本发明的 3D 物体形状以采样次数为 1000dips 的重建效果图。

从图 3（a）-图 3（e），可知，随采样次数的增加，重建的 D 物体形状越来越精确。

本发明采用液体作为传感器的技术手段，针对具有闭塞部分和玻璃材质的三维物体，获得比传统光学扫描仪更好的扫描效果。

本发明通过夹具来控制 3D 物体匀速下降，在下降过程中多次测量重量变换，最终在下降过程中得到多个的体积切片的体积。

因此，本发明的 3D 物体形状的重构方法是基于古代阿基米德原理，阿基米德原理：液体被置换的体积等于物体浸入到水面中的体积。

通过将物体沿轴线浸入液体中，可以测量液体体积置换，并将其转换成一系列沿着浸渍轴的形状的薄体积切片。

通过在各个角度方向反复地将物体浸入水中，产生不同的体积置换并将其转换成所谓的“浸入变换”。收集不同角度的采样。这反过来又能够生成足够的数据来恢复输入形状的几何结构。

由于本发明是基于使用通过液体交互对象生成的体积样本，所以可以以相对简单的方式获取闭塞和视线无法访问的部分。

浸入变换是可逆的，因此可以从其重建物体三维形状。逆变换需要解决一个未确定的问题。所涉及的矩阵大而稀疏，几乎正交。因此，它们具有可以用于加速数值计算的非零部分和结构特性。给定对象的一组给定样本，使用预先计算的因式分解矩阵来计算样本数量的近似线性时间的浸入变换，并获得该问题的稳定数值解。

当问题的尺度是小到中等时，通过（隐含地）计算伪逆来解决问题，产生最小范数的解。对于非常大的问题，应用 LSMR，它们是无需分解的，并使残差范数最小化。

所提出方法的关键优点是采用液体作为传感器。与光学传感器不同，液体没有视线要求，它渗透到被测物体的空腔和隐藏部分，绕过常规扫描装置所有可视性和光学限制。

图 2 是本发明的 3D 物体形状的重构系统结构示意图。

如图 2 所示，本发明的一种 3D 物体形状的重构系统，包括：

非统一交叉对象切片构建模块，其用于在将 3D 物体从多个角度浸入液体的过程中，同时追踪记录液位变化，构建出若干非统一交叉对象切片；

统一切片及其对应水位信息获取模块，其用于将非统一交叉对象切片进行重采样测量，得到统一切片及其对应的水位信息；

水位信息平滑模块，其用于利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息；

浸没过程近似模块，其用于根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程 3D 物体在液体中的浸没过程；

重建 3D 物体的体素模块，其用于求解上述稀疏线性方程组来重建 3D 物体的体素；

网格转化模块，其用于将重建的 3D 物体体素转换为网格；

3D 物体重构模块，其用于平滑网格，最终重构出 3D 物体。

其中，在非统一交叉对象切片构建模块中，利用夹具将 3D 物体从多个角度浸入液体中。

该系统还包括夹具水位信息消除模块，其用于对夹具进行实验测试，得到平滑后的夹具的统一切片所对应的水位信息，最终得到仅有 3D 物体的平滑后的水位信息。

本发明采用液体作为传感器的技术手段，针对具有闭塞部分和玻璃材质的三维物体，获得比传统光学扫描仪更好的扫描效果。

本发明通过夹具来控制 3D 物体匀速下降，在下降过程中多次测量重量变换，最终在下降过程中得到多个的体积切片的体积。

上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述，但并非对本发明保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本发明的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

1、一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，包括：

步骤 a：将 3D 物体从多个角度浸入液体中，且同时追踪记录液位变化，构建出若干非统一交叉对象切片；

步骤 b：将非统一交叉对象切片进行重采样测量，得到统一切片及其对应的水位信息；

步骤 c：利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息；

步骤 d：根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程 3D 物体在液体中的浸没过程；

步骤 e：求解上述稀疏线性方程组来重建 3D 物体的体素；

步骤 f：将重建的 3D 物体体素转换为网格；

步骤 g：平滑网格，最终重构出 3D 物体。

2、如权利要求 1 所述的一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，在所述步骤 a 中，利用夹具将 3D 物体从多个角度浸入液体中。

3、如权利要求 2 所述的一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，在步骤 d 之前，还包括：对夹具进行实验测试，得到平滑后的夹具的统一切片所对应的水位信息，最终得到仅有 3D 物体的平滑后的水位信息。

4、如权利要求 1 所述的一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，在步骤 e 中，使用 LSMR 来求稀疏线性方程组。

5、如权利要求 1 所述的一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，在步骤 f 中，利用等值面构造的方法将重建的 3D 物体体素转换为网格。

6、如权利要求 5 所述的一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，在利用等值面构造的方法将重建的 3D 物体体素转换为网格的过程中，采用 Marching Cubes 算法逐个处理 3D 物体体素，分类出与等值面相交的立方体，采用插值计算出等值面与立方体边的交点，最终得到网格。

7、如权利要求 6 所述的一种 3D 物体形状的重构方法，其特征在于，得到网格的具体过程包括：

① 根据等值面与体素的对称关系构建一个 256 种相交关系的索引表；

② 提取立方体的 8 个顶点，构成一个体素并把这 8 个顶点编号；

③ 根据每个顶点与阈值的比较确定该顶点在面内还是面外；

④ 把这 8 个顶点构成的 01 串组成一个 8 位的索引值；

⑤ 用索引值在上边的索引表里查找对应关系，并求出与立方体每条边的点；

⑥ 用交点构成三角形面片或多边形面片；

⑦ 遍历三维图像的所有体素，重复执行②到⑥。

8、一种 3D 物体形状的重构系统，其特征在于，包括：

非统一交叉对象切片构建模块，其用于在将 3D 物体从多个角度浸入液体的过程中，同时追踪记录液位变化，构建出若干非统一交叉对象切片；

统一切片及其对应水位信息获取模块，其用于将非统一交叉对象切片进行重采样测量，得到统一切片及其对应的水位信息；

水位信息平滑模块，其用于利用高斯内核平滑所述统一切片相对应的水位信息；

浸没过程近似模块，其用于根据平滑后的水位信息来构建一个稀疏线性方程组来近似浸没过程 3D 物体在液体中的浸没过程；

重建 3D 物体的体素模块，其用于求解上述稀疏线性方程组来重建 3D 物体的体素；

网格转化模块，其用于将重建的 3D 物体体素转换为网格；

3D 物体重构模块，其用于平滑网格，最终重构出 3D 物体。

9、如权利要求 8 所述的一种 3D 物体形状的重构系统，其特征在于，在非统一交叉对象切片构建模块中，利用夹具将 3D 物体从多个角度浸入液体中。

10、如权利要求 9 所述的一种 3D 物体形状的重构系统，其特征在于，该系统还包括夹具水位信息消除模块，其用于对夹具进行实验测试，得到平滑后的夹具的统一切片所对应的水位信息，最终得到仅有 3D 物体的平滑后的水位信息。

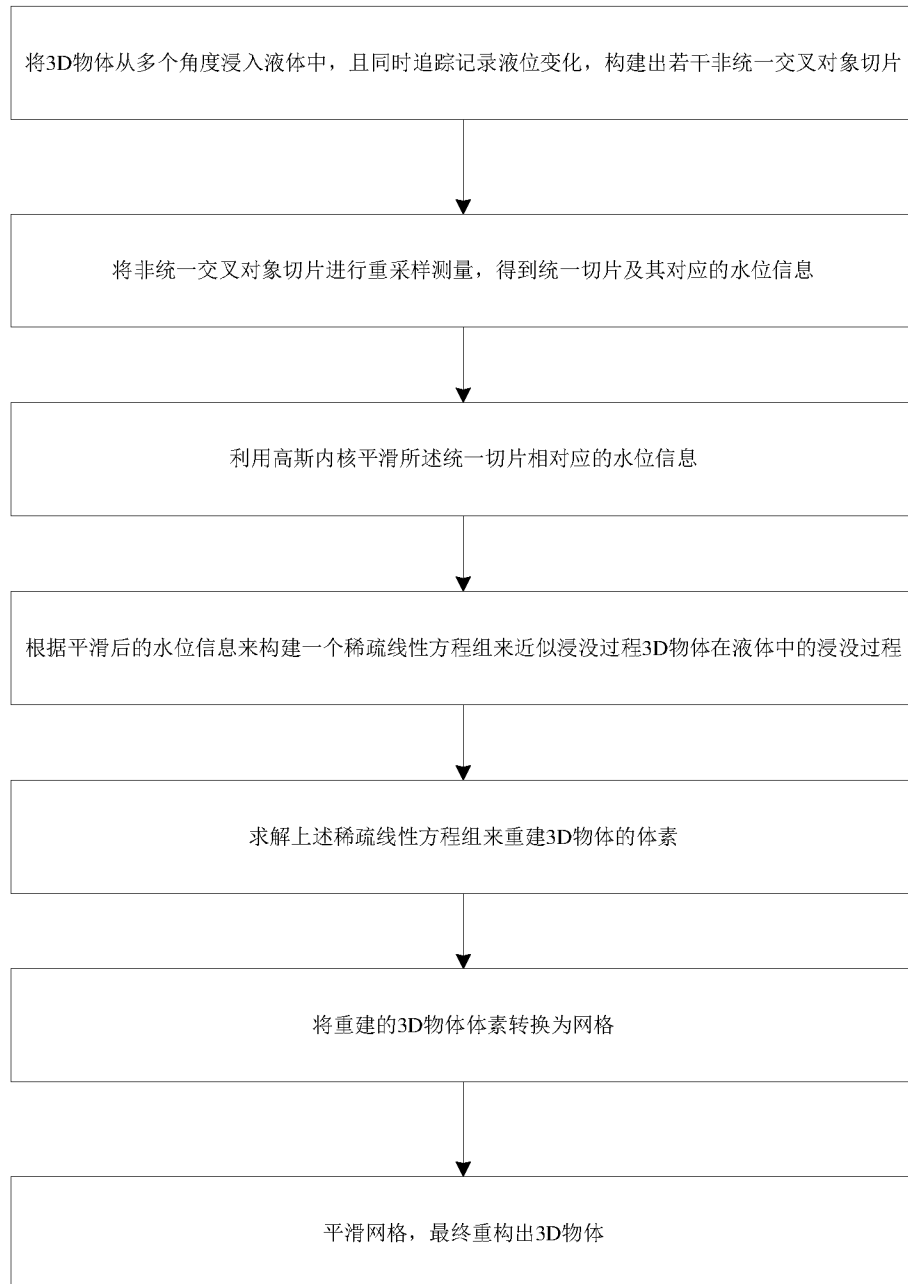


图 1



图 2

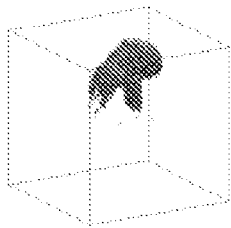


图 3 (a)

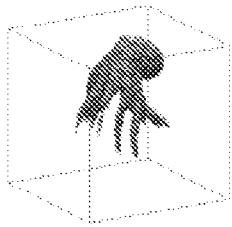


图 3 (b)

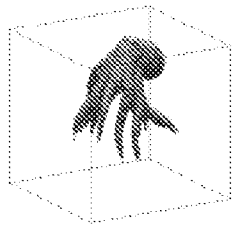


图 3 (c)

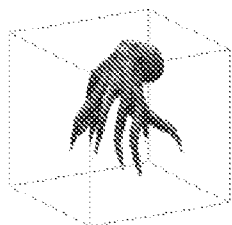


图 3 (d)

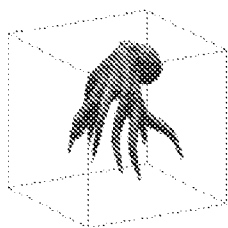


图 3 (e)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/093512

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/10 (2006.01) i; G01B 13/16 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T, G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE, GOOGLE: 三维, 建模, 重建, 重构, 形状, 液体, 水, 浸入, 沉入, 液位, 水位, 测量, 切片, 高斯, 网格, 稀疏, 线性方程, 3D, reconstruct+, fluid, water, shape, immers+, level, height, measur+, slice?, Gaussian, sparse, linear, collect+, grid, voxel

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104792283 A (GUILIN UNIVERSITY OF ELECTRONIC TECHNOLOGY) 22 July 2015 (22.07.2015), claims 1-4, description, paragraphs [0013]-[0021], and figures 1-3	1-10
A	US 2015170379 A1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 18 June 2015 (18.06.2015), entire document	1-10
A	US 2012194649 A1 (UNIVERSITY OF CONNECTICUT) 02 August 2012 (02.08.2012), entire document	1-10
A	CN 106644637 A (SHANDONG UNIVERSITY) 10 May 2017 (10.05.2017), entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 06 February 2018	Date of mailing of the international search report 23 February 2018
---	--

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer

LI, Min

Telephone No. (86-10) 53961526

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/093512

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104792283 A	22 July 2015	None	
US 2015170379 A1	18 June 2015	KR 20150070820 A	25 June 2015
US 2012194649 A1	02 August 2012	US 9232211 B2	05 January 2016
CN 106644637 A	10 May 2017	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/093512

A. 主题的分类 G06T 17/10(2006.01)i; G01B 13/16(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G06T, G01B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE, GOOGLE: 三维, 建模, 重建, 重构, 形状, 液体, 水, 浸入, 沉入, 液位, 水位, 测量, 切片, 高斯, 网格, 稀疏, 线性方程, 3D, reconstruct+, fluid, water, shape, immers+, level, height, measur+, slice?, Gaussian, sparse, linear, collect+, grid, voxel																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 104792283 A (桂林电子科技大学) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 权利要求1-4, 说明书第[0013]-[0021]段, 附图1-3</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2015170379 A1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 2015年 6月 18日 (2015 - 06 - 18) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2012194649 A1 (UNIVERSITY OF CONNECTICUT) 2012年 8月 2日 (2012 - 08 - 02) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106644637 A (山东大学) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 104792283 A (桂林电子科技大学) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 权利要求1-4, 说明书第[0013]-[0021]段, 附图1-3	1-10	A	US 2015170379 A1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 2015年 6月 18日 (2015 - 06 - 18) 全文	1-10	A	US 2012194649 A1 (UNIVERSITY OF CONNECTICUT) 2012年 8月 2日 (2012 - 08 - 02) 全文	1-10	A	CN 106644637 A (山东大学) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
A	CN 104792283 A (桂林电子科技大学) 2015年 7月 22日 (2015 - 07 - 22) 权利要求1-4, 说明书第[0013]-[0021]段, 附图1-3	1-10															
A	US 2015170379 A1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 2015年 6月 18日 (2015 - 06 - 18) 全文	1-10															
A	US 2012194649 A1 (UNIVERSITY OF CONNECTICUT) 2012年 8月 2日 (2012 - 08 - 02) 全文	1-10															
A	CN 106644637 A (山东大学) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 全文	1-10															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																	
国际检索实际完成的日期 2018年 2月 6日		国际检索报告邮寄日期 2018年 2月 23日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 李敏 电话号码 (86-10)53961526															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/093512

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104792283	A	2015年 7月 22日	无	
US	2015170379	A1	2015年 6月 18日	KR 20150070820 A	2015年 6月 25日
US	2012194649	A1	2012年 8月 2日	US 9232211 B2	2016年 1月 5日
CN	106644637	A	2017年 5月 10日	无	