

(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
2017 年 9 月 21 日 (21.09.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/156815 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 17/30 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/079176
- (22) 国际申请日: 2016 年 4 月 13 日 (13.04.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610150875.9 2016 年 3 月 16 日 (16.03.2016) CN
- (71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号, Shandong 250101 (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 号计算机科学与技术学院, Shandong 250101 (CN)。 科恩奥·丹尼尔 (COHEN, OR, Daniel); 以色列特拉维夫市特拉维夫大学计算机科学学院伯赖楼 216 室, Tel Aviv 69978 (IL)。 里奇斯·达尼 (LISCHINSKI, Dani); 以色列耶路撒冷市盖威特拉姆区以色列希伯来大学耶路撒冷爱得蒙撒夫拉校区瑞秋斯莱姆贝宁计算机科学与工程学院, Jerusalem 91904 (IL)。 吕琳 (LV, Lin); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号计算机科学与技

术学院, Shandong 250101 (CN)。 沙夫·安德雷 (SHARF, Andrei); 以色列贝尔谢瓦市本古里安大学计算机科学部 110 室, Beer-Sheva 84105 (IL)。 魏源 (WEI, Yuan); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号计算机科学与技术学院, Shandong 250101 (CN)。 赵海森 (ZHAO, Haisen); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号计算机科学与技术学院, Shandong 250101 (CN)。

(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 250101 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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。

[见续页]

(54) Title: IMPROVED METHOD FOR GENERATING HALFTONE PROJECTION AND MODEL FOR 3D PRINTING

(54) 发明名称: 一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法

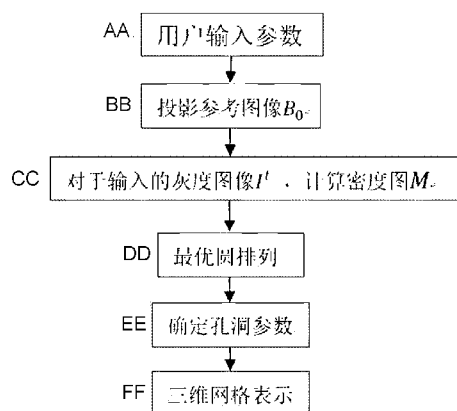


图 1

AAA user inputs parameters
BB Reference projection image B0
CCC Calculate a density graph M with respect to an inputted grayscale image I'
DD Optimal circular permutation
EE Determine hole parameters
FF Express with a three-dimensional grid

(57) Abstract: An improved method for generating halftone projection and a model for 3D printing, the method comprising: calculating an reference projection image by using a project simulation method according to a given three-dimensional model, a projection receiving surface and basic parameters of a light source; correcting a given grayscale image to obtain an illuminance diagram; corresponding points in the illuminance diagram to the reference projection image; normalizing to obtain a density graph by means of calculation; using a Voronoi division method having capacity constraints to provide an optimal circle permutation according to the density graph; and according to the type of a hole as determined by the optimal circular permutation, determining the corresponding size and position of the hole as well as the direction and angle of the light source, and generating a physical model for 3D printing. By means of the present method, the light source transmits through the hole on the model to form a continuous grayscale image which is closest to the given grayscale image, and no obviously visible discrete spot is present.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/156815 A1



(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))。

一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法, 根据给定的三维模型、投影接收面以及光源的基本参数, 利用投影模拟方法, 计算投影参考图像, 将给定的灰度图像进行校正, 得到照度图, 将照度图的点与投影参考图像相对应, 进行归一化处理后, 计算得到密度图; 利用带容量约束的 Voronoi 划分的方法, 根据密度图进行最优圆排列; 根据最优圆排列确定的孔洞类型, 确定相应孔洞的大小、位置和相对光源朝向角度, 生成物理模型, 进行 3D 打印。通过本方法, 使光源透过模型上的孔洞在投影接收面上形成一幅与给定灰度图像最相近的连续灰度图像, 无明显的离散光斑可见。

一种改进的面向3D打印的半色调投影与模型生成方法

技术领域

本发明涉及一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法。

背景技术

3D 打印 (3D Printing), 又称增材制造 (Additive Manufacturing, AM), 快速原型制造 (Rapid Prototyping) 等, 是一种基于离散-堆积原理, 采用材料逐层累加的方法制造实体零件的技术。3D 打印可采用金属、光敏树脂、塑料等多种材料, 直接以数字模型文件为输入制造任意复杂形状的三维实体, 适用于可定制化的制造。

连续调图像是指在一幅图像上, 存在着色调、亮度与饱和度连续变化的真彩色图像, 其连续变化是以单位面积成像物质颗粒的密度构成的, 如 CRT 显示器。连续调图像的深浅变化是无级的。与之对应的半色调图像, 又称为网目图像, 表现的色调则相对少一些, 通过网点的大小或稀疏表达图像的层次, 图像细节的变化不连续, 如喷墨类型的打印机。由连续调图像生成半色调图像的方法, 可称之为半色调图像生成技术, 或半色调技术。

半色调技术已经广泛应用于传统的纸面印刷和数字显示等领域。其核心在于色调再现, 结构保持, 点密度和图像分辨率的匹配等问题。经过几十年的探索研究, 出现了很多半色调生成方法。以保持原始图像的相对色调为目的, 国内外的研究学者们提出了很多相应的半色调技术。

但是, 已有的半色调图像生成的技术, 所面向的是数字半色调图像生成或者给定图像的点刻画表达。

申请号为 CN201410420912.4 的专利, 提出一种面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法, 通过控制每个孔的位置, 大小和长度, 得到宏观完整的投影图像, 并引入了特征层和色调层分别生成对应孔洞, 最终将两层融合并打印生成模型。但是, 其投影效果可能存在不连续、有离散光半点。

本专利与之相比采用完全不同的技术进行模型生成计算, 并且能得到更连续的灰度投影图像, 无明显可见的离散光斑点, 最终投影效果显著优于专利 CN201410420912.4。

本专利提出的技术面向 3D 打印领域, 以光通过直射投影所形成的光斑作为组成半色调图像的基本单元, 在三维空间中投影出有渐进灰度变化的连续投影图像。改进了现有的通过

优化调整物体的几何结构得到各种不同的光影效果的相关技术、利用光线折射得到指定的投影图像的技术，解决了上述问题。

发明内容

本发明为了解决上述问题，提出了一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，本方法根据用户给定的任一灰度图片和三维实体模型，通过在三维实体模型表面设置一组不同大小，位置和相对光源朝向角度的孔洞，分别使用扩大型孔洞和倾斜型孔洞投影表示灰度图像中较高亮度和较低亮度的区域，使光源透过这些孔洞在投影接收面上形成一幅与给定灰度图像最相近的连续灰度图像。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，包括以下步骤：

(1) 根据给定的三维模型、投影接收面以及光源的基本参数，利用投影模拟方法，计算投影参考图像；

(2) 将给定的灰度图像进行校正，得到照度图，将照度图的点与投影参考图像相对应，进行归一化处理后，计算得到密度图；

(3) 利用带容量约束的 Voronoi 划分的方法，根据密度图进行最优圆排列；

(4) 根据最优圆排列确定的孔洞类型，确定相应孔洞的大小、位置和相对光源朝向角度，生成物理模型，进行 3D 打印。

所述步骤 (1) 中，投影模拟方法的具体方法包括：

(1-1) 将光源离散化为若干个点光源；

(1-2) 在投影接收面的投影区域离散采样为若干个的投影接收点；

(1-3) 在多孔模型的遮挡作用下，计算投影接收点的所有点光源的总辐射照度；

(1-4) 对投影接收点的总辐射照度进行校正，得到投影模拟图像灰度值。

进一步的，所述步骤 (1-4) 中校正方法为通过 Gamma 校正。

所述步骤 (1) 中，计算投影参考图像的具体方法包括：

(1-a) 在三维模型上紧密排列满足可打印性条件半径最小的孔洞；

(1-b) 使用投影模拟方法，在孔洞最紧密排列的约束条件下，生成投影参考图像。

所述步骤 (1-a) 中，满足可打印性条件指的是三维模型上的孔洞的半径不小于选择的打印技术中能够打印的孔洞的最小半径，同时，孔洞之间的距离不小于该打印技术可打印两孔洞间的最小距离。

所述步骤（2）中，对于输入的任一灰度图像，计算密度图，具体包括以下步骤：

（2-1）将给定的灰度图像，通过逆校正得到照度图；

（2-2）对于照度图的每一点，根据其辐射照度设定对应的三维模型处遮光率，根据遮光率计算其对应的目标圆半径；

（2-3）将照度图每点对应的目标圆半径映射为相应密度值，进行归一化处理，得到密度图。

所述步骤（3）中，计算最优圆排列的具体方法包括以下步骤：

（3-1）根据密度图的累加密度值、投影参考图像的圆个数和累加密度值，计算最优目标圆个数；

（3-2）根据密度图和目标圆个数，通过二分搜索查找达到最优圆正确率的带容量约束的 Voronoi 划分。

所述步骤（4）中，具体方法包括：

（4-1）根据得到的最优正确率的 Voronoi 区域和其对应圆排列，将其对应的密度图的区域中多数点标明的孔洞类型作为该 Voronoi 区域期望的孔洞类型；

（4-2）根据任意 Voronoi 区域期望的孔洞类型，在其三维模型的对应位置生成相应的孔洞。

所述步骤（4-1）中，期望的孔洞类型包括扩大型孔洞和倾斜型孔洞。

进一步的，所述步骤（4-2）中，若某 Voronoi 区域对应的孔洞类型为扩大型孔洞，生成方法为：在该 Voronoi 区域的最大内切圆嵌套一个缩小一个安全距离的内切圆，将该内切圆通过中心投影的方式投影在三维壳状模型的外表面和内表面，分别形成两个相交的椭圆，使用一个圆柱形结构连接内外表面的椭圆形成该扩大型孔洞。

进一步的，所述步骤（4-2）中，若某 Voronoi 区域对应的孔洞类型为倾斜型孔洞，生成方法为：在该 Voronoi 区域的最大内切圆嵌套一个缩小一个安全距离的内切圆，在该内切圆内选一个随机方向放置两个半径满足可打印条件的最小圆 D_1 和 D_2 ，分别将 D_1 和 D_2 通过中心投影的方式投影在三维壳状模型的内表面和外表面，分别形成两个相交的椭圆，使用一个圆柱形结构连接内外表面的椭圆形成该倾斜型孔洞。

本发明的有益效果为：

(1) 本发明提出半色调投影与模型生成方法，将半色调技术中的介质由数字印刷墨水推广到投影光线；

(2) 本发明生成的模型，使光源透过模型上的孔洞在投影接收面上形成一幅与给定灰度图像最相近的连续灰度图像，无明显的离散光斑可见；

(3) 本发明直接面向 3D 打印生成满足 3D 打印约束的物理模型，支持用户个性化定制任意的模型外形和目标投影图像；

(4) 应用范围广泛，适用于灯光艺术造型，灯具定制等多种场合。

附图说明

图 1 为本发明的流程图；

图 2 为投影模拟方法解析图；

图 3 (a) 为满足可打印条件最紧密排列的孔洞的排布方式排列图像；

图 3 (b) 为调用投影模拟方法生成投影参考图像；

图 3 (c) 为对应的实际拍摄得到的投影图像；

图 4 为扩大型孔洞和倾斜型孔洞遮光率解析图；

图 5 为本发明的适用实例图；

图 6 为扩大型孔洞和倾斜型孔洞生成解析图。

具体实施方式：

下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

如图 1 所示，一种面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，包括以下步骤：

(1) 用户指定三维模型，投影接收面及光源的位置大小范围等参数，通过投影模拟方法，计算投影参考图像 B_0 ；

(2) 对于输入的任一灰度图像 I^t ，结合投影参考图像 B_0 ，计算一幅密度图 M ；

(3) 根据密度图 M ，应用带容量约束的 Voronoi 划分 (CCVT) 的方法计算最优圆排列；

(4) 根据这组圆排列，生成相应的扩大型孔洞和倾斜型孔洞。

所述步骤 (1) 中，投影模拟方法，具体包括以下步骤：

(1-1) 将光通量为 Φ 的光源 L 离散化为 n 个点光源 $\{l_i\}_{i=1}^n$ ，每个点光源 l_i 的光通量为 $\Phi_i = \frac{\Phi}{n}$ ；

(1-2) 在投影接收面的投影区域离散采样有限个数的投影接收点，如图 2 中的点 p ；

(1-3) 如图 2, 在多孔模型 (lampshade) 的遮挡作用下, 计算投影接收点 p 的总辐射照度 $E_v(p)$ 为:

$$E_v(p) = \sum_i \frac{\Phi_i}{\pi r_i^2} \cos(\theta_i) \cos(\theta_p) V(p, l_i).$$

投影接收点 p 的总辐射照度 $E_v(p)$ 为所有点光源到该点的辐射照度累加和。如图 2 中, r_i 为点 p 到光源 l_i 的欧式距离, θ_i 和 θ_p 为连接点 p 和 l_i 的直线和点 p 和 l_i 处法线 $\bar{N}_j$ 和 $\bar{N}_i$ 的夹角, $V(p, l_i)$ 为点 p 和 l_i 的可见关系, 取值为 0 代表不可见, 取值为 1 代表可见;

(1-4) 将投影接收点的总辐射照度 $E_v(p)$, 通过 Gamma 校正得到投影模拟图像灰度值

$I^t(p) = g(E_v(p)) = (E_v(p))^{1/\gamma}$, 其中 $g(\cdot)$ 表示 Gamma 校正过程, 通常 Gamma 函数 γ 取值为 2.2。

所述步骤 (1) 中, 计算投影参考图像, 具体包括以下步骤:

(1-1) 在三维模型上紧密排列满足可打印性条件半径最小的孔洞, 如图 3 (a)。在此满足可打印性条件指的是三维模型上的孔洞的半径不小于 r_{min} , 孔洞之间的距离不小于 d_{min} 。其中, r_{min} 为某特定打印技术可打印孔洞的最小半径, d_{min} 为该打印技术可打印两孔洞间的最小距离。满足可打印条件最紧密排列的孔洞为一组半径为 r_{min} 的孔洞按照间距为 d_{min} 的最紧密的排布方式排列, 如图 3 (a) 所示;

(1-2) 调用投影模拟方法生成投影参考图像 B_0 , 如图 3 (b)。图 3 (c) 为其对应的实际拍摄得到的投影图像。在孔洞最紧密排列的约束条件下, 投影参考图像 B_0 为扩大型孔洞能到达的最低灰度值。若输入图像 I^t 特定区域的亮度值不低于 B_0 , 需要排列扩大型孔洞; 若低于输入图像 I^t 特定区域的亮度值低于 B_0 , 则需要排列倾斜型孔洞。

所述步骤 (2) 中, 对于输入的任一灰度图像 I^t , 计算密度图 M , 具体包括以下步骤:

(2-1) 将给定的灰度图像 I^t , 通过逆 Gamma 校正得到照度图。对于灰度图像 I^t 上某一点 $p(x, y)$ 的灰度 $I^t(p(x, y))$, 辐射照度 $E_v(p) = g^{-1}(I^t(p))$, 其中 $g^{-1}(\cdot)$ 为逆 Gamma 校正过程。

(2-2) 对于照度图的每一点 $p(x, y)$, 其对应辐射照度为 $E_v(p)$ 。为达到辐射照度 $E_v(p)$, 在点 $p(x, y)$ 对应三维模型处遮光率设为 K , 有 $E_v(p) = K E_v^0(p(x, y))$ 。其中, $E_v^0(x, y)$ 为点 $p(x, y)$ 在没有任何三维模型遮挡的情况下的总辐射照度 $E_v^0(x, y) = \sum_i \frac{\Phi_i}{\pi r_i^2} \cos(\theta_i) \cos(\theta_p)$ 。 K 表示点 $p(x, y)$ 对应三维模型处对应的遮光率, $K = Area(unoccluded)/Area(Cell)$ 。可将 K 表示为 r 的

函数形式。如图 4, r 为正六变形内最大内切圆的半径, r_{min} 为可打印孔洞的最小半径, d_{min} 为可打印两孔洞间的最小距离。

若 $I^t(p(x, y)) \geq B_0(p(x, y))$, 需要排列扩大型孔洞, 有:

$$K(r) = \frac{\pi(r - 0.5d_{min})^2}{2\sqrt{3}r^2}.$$

若 $I^t(p(x, y)) < B_0(p(x, y))$, 需要排列倾斜型孔洞, 有:

$$K(r) = \frac{r_{min}^2 \cos^{-1}\left(\frac{d}{r_{min}}\right) - d\sqrt{r_{min}^2 - d^2}}{\sqrt{3}r^2}, \text{ 其中 } d = r - r_{min} - 0.5d_{min}.$$

由上述公式可得, 对于照度图上点 $p(x, y)$, 为达到 $E_v(p)$, 期望最大内切圆的半径为 r 。 r 为三维模型表面上相应最大内切圆的半径, 其在投影接收面对应圆的半径为 r_w , 使投影接收面上相应位置上半径为 r_w 的圆在点 $p(x, y)$ 对应三维模型处的投影面积与半径为 r 的圆的面积相等;

(2-3) 对于照度图上点 $p(x, y)$, 其相应的投影接收面上圆半径为 r_w , 定义点 $p(x, y)$ 处密度 $\rho_w(x, y) = 1/r_w^2$, 经过归一化, 得到密度图 M 。

所述步骤 (3) 中, 计算最优圆排列, 具体包括以下步骤:

(3-1) 计算最优目标圆个数 $N = \rho_m N_0 / \rho_0$, 其中 ρ_m 为密度图 M 的累加密度值, ρ_0 为 B_0 的累加密度值, N_0 为 B_0 的圆个数。

(3-2) 给定密度图 M 和目标圆个数 N , 通过调用 de Goes 的方法计算 CCVT。在结果 CCVT 的每个 Voronoi 区域中计算其最大内切圆得到一组圆排列。对于某个 Voronoi 区域, 其对应密度图 M 的某一块区域, 将该区域中所有点对应的半径 r_w 的均值作为该区域的期望圆大小。由此判定该区域的最大内切圆是否达到其期望圆大小。以目标圆个数 N 为上界, 通过二分搜索查找达到最优圆正确率的 CCVT。如图 5, 5(a) 为用户输入灰度图像, 5(b) 为对应密度图 M , 5(c) 为 de Goes 的方法计算得到的 CCVT, 5(d) 为计算得到的最优圆排列。

所述步骤 (4) 中, 确定相应孔洞的大小, 位置和相对光源朝向角度, 具体包括以下步骤:

(4-1) 由步骤 3 可得达到最优正确率的 CCVT 及其对应圆排列。密度图 M 中任一点记录了其对应的密度值 $\rho_w(x, y)$ 及其期望的孔洞类型, 扩大型孔洞或者倾斜型孔洞。对于某个 Voronoi 区域, 其对应的密度图的某块区域, 将该区域中多数点表面的孔洞类型作为该 Voronoi 区域对应孔洞的类型。

(4-2) 如图 6 所示, 若某 Voronoi 区域对应的孔洞类型为扩大型孔洞, 该 Voronoi 区域的最大内切圆为 D , D 中嵌套一个缩小一个安全距离的 D' , 安全距离为 $0.5d_{min}$ 。将 D' 通过中心投影的方式投影在三维壳状模型的外表面和内表面, 分别形成两个相交的椭圆, 使用一个圆柱形结构连接内外表面的椭圆形成该扩大型孔洞。

(4-3) 如图 6 所示, 若某 Voronoi 区域对应的孔洞类型为倾斜型孔洞, 在 D' 选一个随机方向放置两个半径满足可打印条件的最小圆 D_1 和 D_2 , 分别将 D_1 和 D_2 通过中心投影的方式投影在三维壳状模型的内表面和外表面, 分别形成两个相交的椭圆, 使用一个圆柱形结构连接内外表面的椭圆形成该倾斜型孔洞。

生成半色调投影模型后, 可依照该模型直接进行 3D 打印。打印得到的模型可使光源透过模型上的孔洞在投影接收面上投影形成一幅与用户给定灰度图像最相近的连续灰度图像。

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、一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：包括以下步骤：

(1) 根据给定的三维模型、投影接收面以及光源的基本参数，利用投影模拟方法，计算投影参考图像；

(2) 将给定的灰度图像进行校正，得到照度图，将照度图的点与投影参考图像相对应，进行归一化处理后，计算得到密度图；

(3) 利用带容量约束的 Voronoi 划分的方法，根据密度图进行最优圆排列；

(4) 根据最优圆排列确定的孔洞类型，确定相应孔洞的大小、位置和相对光源朝向角度，生成物理模型，进行 3D 打印。

2、如权利要求 1 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤 (1) 中，投影模拟方法的具体方法包括：

(1-1) 将光源离散化为若干个光源点；

(1-2) 在投影接收面的投影区域离散采样为若干个的投影接收点；

(1-3) 在多孔模型的遮挡作用下，计算投影接收点的所有光源点的总辐射照度；

(1-4) 对投影接收点的总辐射照度进行校正，得到投影模拟图像灰度值。

3、如权利要求 2 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤 (1-4) 中校正方法为通过 Gamma 校正。

4、如权利要求 1 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤 (1) 中，计算投影参考图像的具体方法包括：

(1-a) 在三维模型上紧密排列满足可打印性条件半径最小的孔洞；

(1-b) 使用投影模拟方法，在孔洞最紧密排列的约束条件下，生成投影参考图像。

5、如权利要求 1 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤 (1-a) 中，满足可打印性条件指的是三维模型上的孔洞的半径不小于选择的打印技术中能够打印的孔洞的最小半径，同时，孔洞之间的距离不小于该打印技术可打印两孔洞间的最小距离。

6、如权利要求 1 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤 (2) 中，对于输入的任一灰度图像，计算密度图，具体包括以下步骤：

(2-1) 将给定的灰度图像，通过逆校正得到照度图；

(2-2) 对于照度图的每一点，根据其辐射照度设定对应的三维模型处遮光率，根据遮光率计算其对应的目标圆半径；

(2-3) 将照度图每点对应的目标圆半径映射为相应密度值，进行归一化处理，得到密度图。

7、如权利要求 1 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤（3）中，计算最优圆排列的具体方法包括以下步骤：

（3-1）根据密度图的累加密度值、投影参考图像的圆个数和累加密度值，计算最优目标圆个数；

（3-2）根据密度图和目标圆个数，通过二分搜索查找达到最优圆正确率的带容量约束的 Voronoi 划分。

8、如权利要求 1 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤（4）中，具体方法包括：

（4-1）根据得到的最优正确率的 Voronoi 区域和其对应圆排列，将其对应的密度图的区域中多数点标明的孔洞类型作为该 Voronoi 区域期望的孔洞类型；

（4-2）根据任意 Voronoi 区域期望的孔洞类型，在其三维模型的对应位置生成相应的孔洞。

9、如权利要求 8 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤（4-2）中，若某 Voronoi 区域对应的孔洞类型为扩大型孔洞，生成方法为：在该 Voronoi 区域的最大内切圆嵌套一个缩小一个安全距离的内切圆，将该内切圆通过中心投影的方式投影在三维壳状模型的外表面和内表面，分别形成两个相交的椭圆，使用一个圆柱形结构连接内外表面的椭圆形成该扩大型孔洞。

10、如权利要求 8 所述的一种改进的面向 3D 打印的半色调投影与模型生成方法，其特征是：所述步骤（4-2）中，若某 Voronoi 区域对应的孔洞类型为倾斜型孔洞，生成方法为：在该 Voronoi 区域的最大内切圆嵌套一个缩小一个安全距离的内切圆，在该内切圆选一个随机方向放置两个半径满足可打印条件的最小圆 D_1 和 D_2 ，分别将 D_1 和 D_2 通过中心投影的方式投影在三维壳状模型的内表面和外表面，分别形成两个相交的椭圆，使用一个圆柱形结构连接内外表面的椭圆形成该倾斜型孔洞。

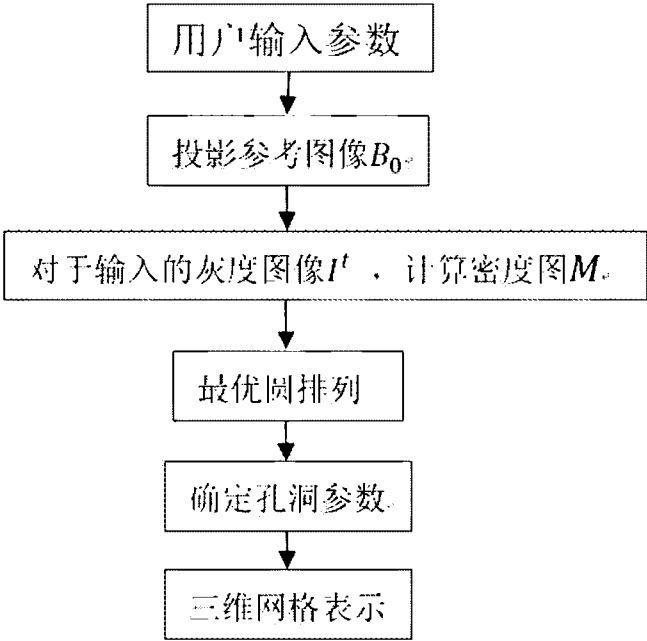


图 1

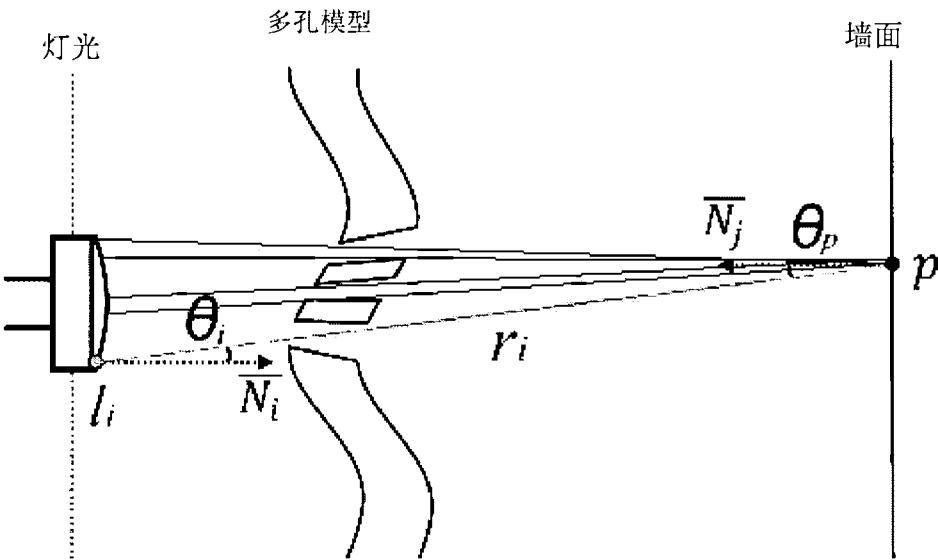


图 2

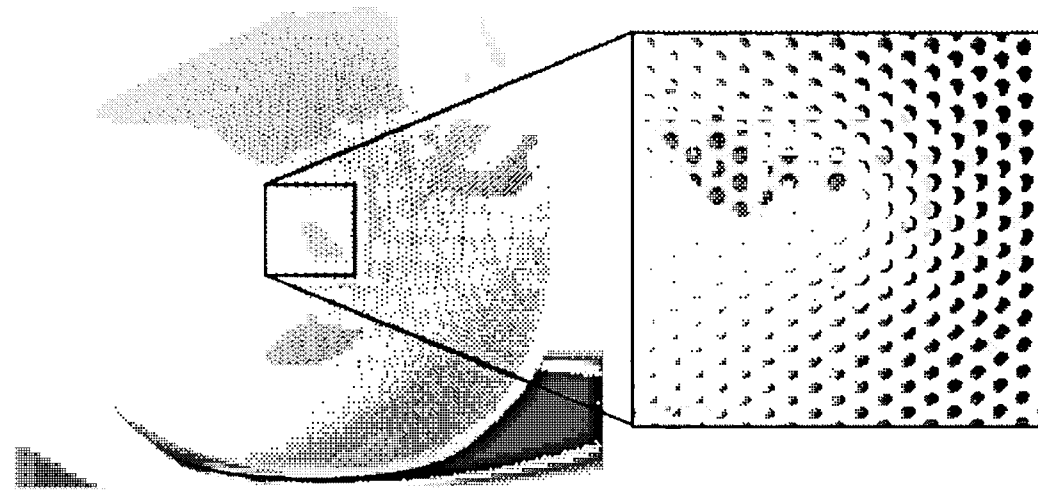


图 3 (a)

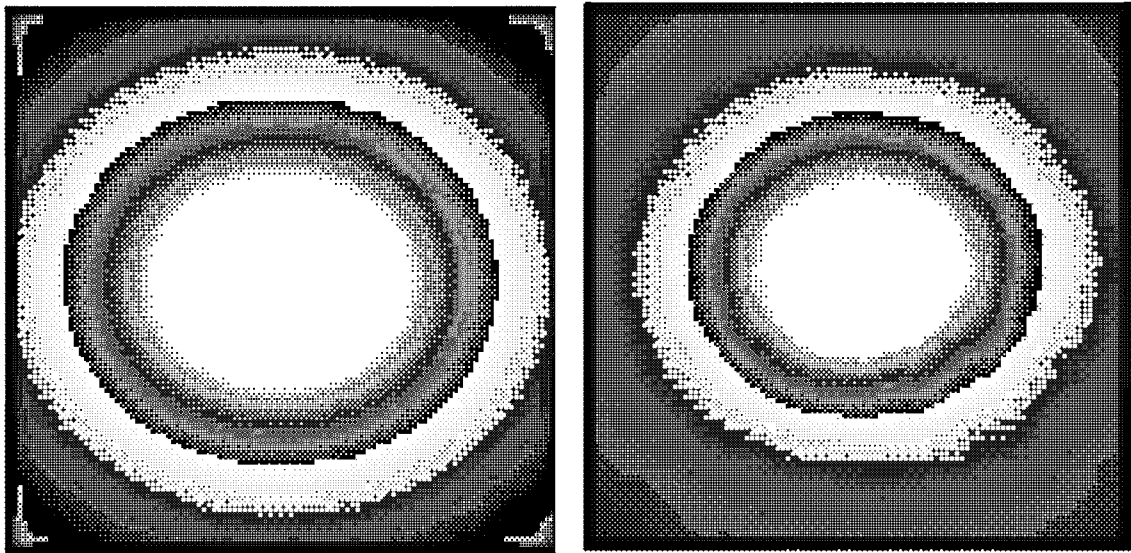


图 3 (b) 图 3 (c)

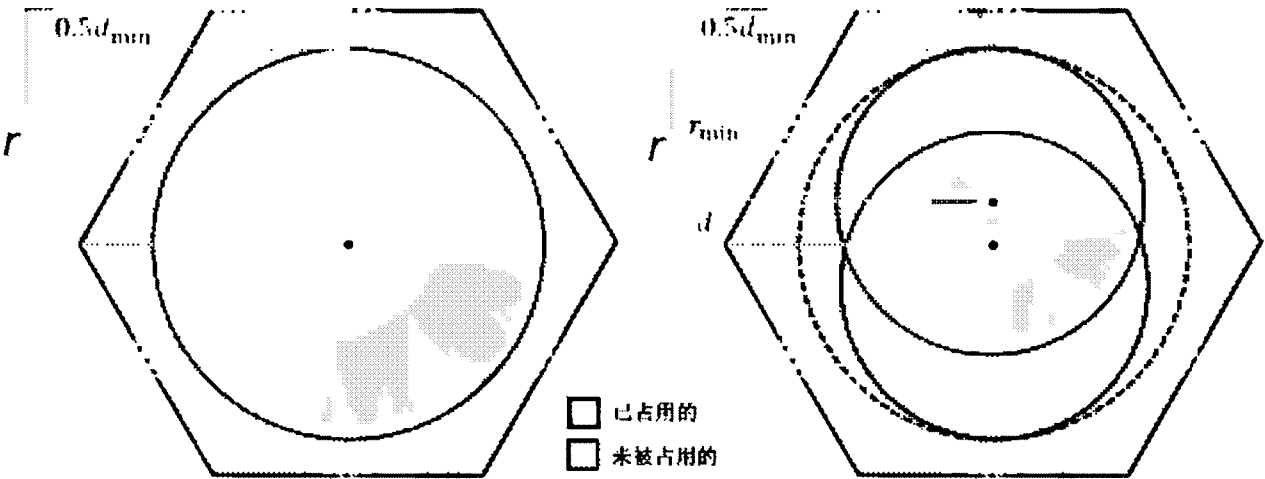


图 4

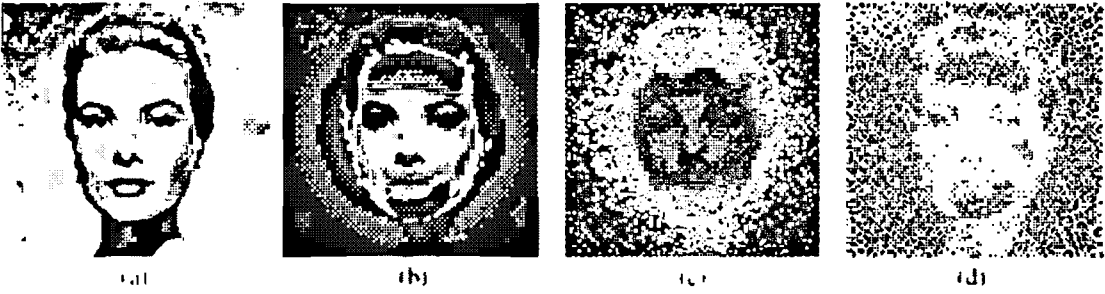


图 5

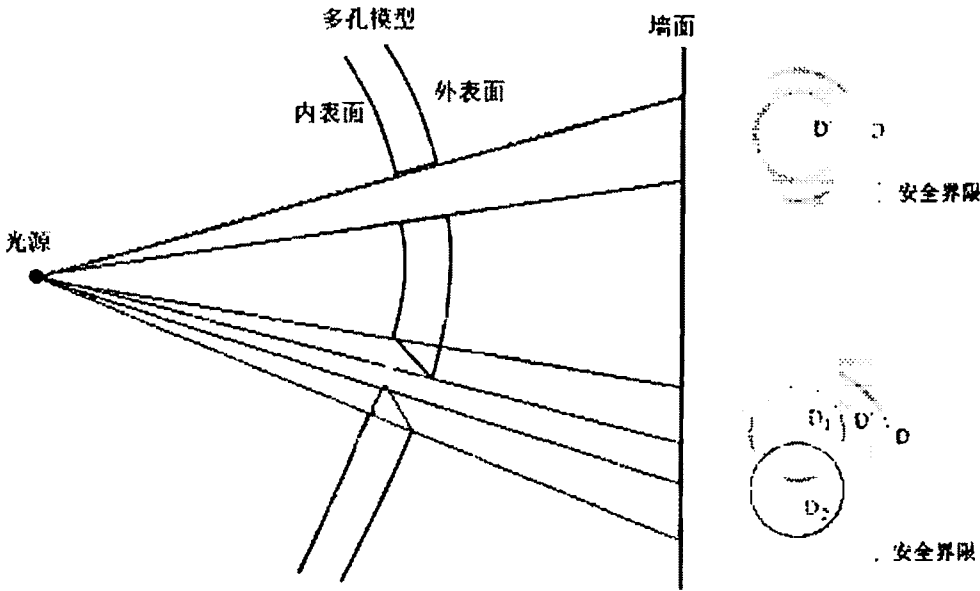


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/079176

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/30 (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

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, google scholar: shandong university, lv lin, zhao haisen, chen baoquan, voronoi, 3D print+, half w ton+, grayscale, continu+, hole?, circle, pore, tube?, project+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ZHAO, Haisen et al., "Printed Perforated Lampshades for Continuous Projective Images" arXiv e-prints Abstract Service, 31 October 2015 (31.05.2015), the abstract	1, 4, 5
A	CN 105023296 A (SHANDONG UNIVERSITY) 04 November 2015 (04.11.2015) the whole document	1-10
A	CN 103978690 A (SHANDONG UNIVERSITY) 13 August 2014 (13.08.2014) the whole document	1-10
A	US 2011075944 AL (YUAN, XIAORU et al.) 31 March 2011 (31.03.2011) the whole document	1-10
A	LIANG, Guanghui et al. "Poisson disk sampling through disk packing" Computational Visual Media, volume 1, number 1, 31 March 2015 (31.03.2015) the whole 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 10 November 2016	Date of mailing of the international search report 24 November 2016
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 ZHANG, Ranxi Telephone No. (86-10) 62413555

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2016/079176

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LU, Lin et al., "Build-to-Last:Strength to Weight 3D printed Objects" ACM Transaction on Graphics, volume 33, number 4, 31 July 2014 (31.07.2014) the whole document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/079176

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105023296 A	04 November 2015	None	
CN 103978690 A	13 August 2014	CN 103978690 B	11 May 2016
US 2011075944 A1	31 March 2011	US 2013223746 A1	29 August 2013
		US 8687908 B2	01 April 2014
		US 8433150 B2	30 April 2013

A. 主题的分类 G06T 17/30 (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 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)) CNPAT; CNKI; WPI; EPDOC; google scholar: 山东大学, 吕琳, 赵海森, 陈宝权, 3D 打印, 半色调, 灰阶, 连续, 圆, 孔洞, voronoi, 投影, 3D print+, half w ton+, grayscale, continu+, hole?, circle, pore?, tube?, project+.																				
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>X</td> <td>ZHAO, Haisen et al. "Printed Perforated Lampshades for Continuous Projective Images" arXiv e-prints Abstract Service, 2015 年 10 月 31 日 (2015 - 10 - 31), 摘要</td> <td>1, 4-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105023296 A (山东大学) 2015 年 11 月 4 日 (2015 - 11 - 04) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103978690 A (山东大学) 2014 年 8 月 13 日 (2014 - 08 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011075944 A1 (YUAN, XIAORU 等) 2011 年 3 月 31 日 (2011 - 03 - 31) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>LIANG, Guanghui et al. "Poisson disk sampling through disk packing" Computational Visual Media, 第1卷, 第1期, 2015 年 3 月 31 日 (2015 - 03 - 31), 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	X	ZHAO, Haisen et al. "Printed Perforated Lampshades for Continuous Projective Images" arXiv e-prints Abstract Service, 2015 年 10 月 31 日 (2015 - 10 - 31), 摘要	1, 4-5	A	CN 105023296 A (山东大学) 2015 年 11 月 4 日 (2015 - 11 - 04) 全文	1-10	A	CN 103978690 A (山东大学) 2014 年 8 月 13 日 (2014 - 08 - 13) 全文	1-10	A	US 2011075944 A1 (YUAN, XIAORU 等) 2011 年 3 月 31 日 (2011 - 03 - 31) 全文	1-10	A	LIANG, Guanghui et al. "Poisson disk sampling through disk packing" Computational Visual Media, 第1卷, 第1期, 2015 年 3 月 31 日 (2015 - 03 - 31), 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																		
X	ZHAO, Haisen et al. "Printed Perforated Lampshades for Continuous Projective Images" arXiv e-prints Abstract Service, 2015 年 10 月 31 日 (2015 - 10 - 31), 摘要	1, 4-5																		
A	CN 105023296 A (山东大学) 2015 年 11 月 4 日 (2015 - 11 - 04) 全文	1-10																		
A	CN 103978690 A (山东大学) 2014 年 8 月 13 日 (2014 - 08 - 13) 全文	1-10																		
A	US 2011075944 A1 (YUAN, XIAORU 等) 2011 年 3 月 31 日 (2011 - 03 - 31) 全文	1-10																		
A	LIANG, Guanghui et al. "Poisson disk sampling through disk packing" Computational Visual Media, 第1卷, 第1期, 2015 年 3 月 31 日 (2015 - 03 - 31), 全文	1-10																		
☒ 其余文件在 C 栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。 <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 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 </td> <td style="vertical-align: top;"> "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 </td> </tr> </table>			* 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																
* 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 2016 年 11 月 10 日		国际检索报告邮寄日期 2016 年 11 月 24 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		受权官员 张然兮 电话号码 (86-10) 62413555																		

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	LU, Lin et al. "Build-to-Last:Strength to Weight 3D printed Objects" ACM Transaction on Graphics, 第33卷, 第4期, 2014年 7月 31日 (2014 - 07 - 31), 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/079176

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	105023296	A	2015年 11月 4日	无	
CN	103978690	A	2014年 8月 13日	CN	103978690 B 2016年 5月 11日
US	2011075944	A1	2011年 3月 31日	US	2013223746 A1 2013年 8月 29日
				US	8687908 B2 2014年 4月 1日
				US	8433150 B2 2013年 4月 30日