

(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 5 月 18 日 (18.05.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/080135 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 17/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/079151
- (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:
201510762458.5 2015 年 11 月 10 日 (10.11.2015) 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)。 贝纳斯佰德瑞驰 (BENES, Bedrich); 美国印地安那州西法拉叶恩格兰特街 401 号普渡大学诺伊技术大厅计算机图形技术馆 349 室, Indiana 47907-2021 (US)。 陈学霖 (CHEN, Xuelin); 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

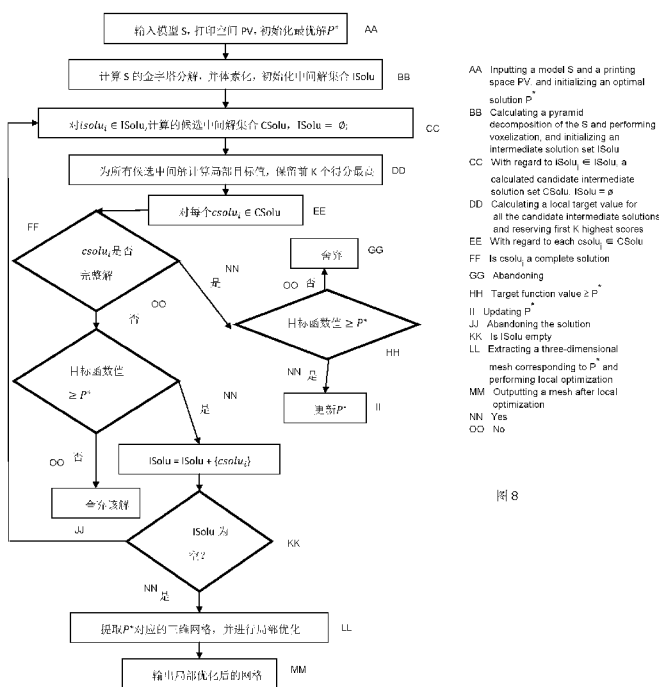
市特拉维夫大学计算机科学学院的施赖伯楼 216 室, Tel Aviv 69978 (IL)。 胡瑞珍 (HU, Ruizhen); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 黄其兴 (HUANG, Qixing); 美国伊利诺伊州芝加哥肯伍德大道 6045 号本田工业大学 (芝加哥), Illinois 60637 (US)。 林金杰 (LIN, Jinjie); 中国广东省深圳市南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 吕琳 (LV, Lin); 中国山东省济南市高新区舜华路 1500 号计算机科学与技术学院, Shandong 250101 (CN)。

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

[见续页]

(54) Title: 3D PRINTING-ORIENTED MODEL DECOMPOSITION AND ARRANGEMENT METHOD

(54) 发明名称: 一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法



(57) Abstract: Proposed is a 3D printing-oriented model decomposition and arrangement method, comprising: giving a model S and a printing space PV; calculating an initial pyramid attribute block decomposition of the model S, and performing voxelization on these pyramid attribute blocks to generate a first initial intermediate solution $isolu_0$; initializing an intermediate solution set $ISolu = \{isolu_0\}$; initializing an optimal complete solution P^* ; with regard to each intermediate solution $isoli$, in the intermediate solution set $ISolu$, calculating a series of candidate intermediate solutions generated by the intermediate solution, and solving an optimal solution of decomposition and arrangement of the model S; and performing local optimization on a three-dimensional mesh of a plurality of extracted blocks, and by means of the translation of each block in the negative direction of the Z axis, arranging these blocks to be more compact, thereby obtaining the optimal decomposition and arrangement regarding the model S. A model is decomposed into fewer blocks so as to be effectively arranged into a printing space, so that the printing process is effectively carried out.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2017/080135 A1



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW。

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)。

- (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,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明提出了一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法。给定一个模型 S, 打印空间 PV, 计算模型 S 初始的金字塔属性块分解, 并将这些金字塔属性块体素化, 生成第一个初始中间解 $isolu_0$; 初始化中间解集合 $ISolu = \{isolu_0\}$, 初始化最优完全解 P^* ; 对中间解集合 ISolu 中的每一个中间解 $isoli$, 计算中间解产生的一系列的候选中间解, 求解出模型 S 的分解与排列最优解; 将提取出来的多个块的三维网格进行局部优化, 通过每个块的沿 Z 轴负方向平移, 将这些块排列的更加紧实, 由此, 得到了关于模型 S 的最优的分解与排列。将模型分解成较少的块, 有效的排列进打印空间, 使得打印过程有效的进行。

一种面向3D打印的模型分解与排列方法

技术领域

本发明涉及一种面向 3D 打印的模型的分解与排列的优化方法，具体涉及一种基于模型近似金字塔分解和定向搜索的模型的分割与排列的优化方法。

背景技术

3D 打印，即快速成型技术的一种，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。

最近几年，3D 打印越来越多的被人们所提及，将数字模型文件打印成实物的能力，使得它在许多行业得到广泛应用。从技术实现上来看，3D 打印通常是将打印材料“一层一层”地叠加起来，从而将数字蓝图变为实物。并且这样的 3D 打印过程都是限定在一个具有一定空间的打印平台之内的。所以，模型和打印平台的大小直接关系到能否一次性打印出成品。当模型的整体大小超出了打印空间的大小，无法完整的摆放进打印平台进行打印，这就需要对模型进行分解，然后将模型的各个部分排列进打印空间内进行打印了。针对这一问题，Hu(HU, R., LI, H., ZHANG, H., AND COHEN-OR, D. 2014. Approximate pyramidal shape decomposition. ACM Trans. on Graph 33, 6, 213:1–213:12)等人在 2014 年提出了一种可以将模型分解成尽可能少的满足近似金字塔属性的块的方法，然后将这些满足近似金字塔属性的块分开，利用熔融沉积快速成型（FDM）打印机进行打印，可以非常有效的节省支撑材料。但是该方法只考虑了将模型分解成近似金字塔形状的块，并没有考虑如何将这些块排列进打印空间里，进行有效的打印。Luo(LUO, L., BARAN, I., RUSINKIEWICZ, S., AND MATUSIK, W. 2012. Chopper: Partitioning models into 3D-printable parts. ACM Trans. on Graph 31, 6, 129:1–129:9)等人在 2012 年提出的方法，可以将一个三维模型分解成许多块，每一个单独的块都可以放进打印空间内进行单独打印。在这个方法中所考虑的因素有块数，可装配性和切割线的美观性。但是这个方法并没有考虑到支撑材料或者打印时间的约束。Vanek(VANEK, J., GARCIA, J., BENES, B., MECH, R., CARR, N., STAVA, O., AND MILLER, G. 2014. PackMerger: A 3D print volume optimizer. Computer Graphics Forum 33, 6, 322–332)等人在 2014 年提出的一个方法，考虑到如何更好地分解模型可以使得排列的结果更好。该方法首先提取模型的表面外壳，并不是针对实心的模型进行处理的，然后对提取的壳状模型进行四面体化处理，再采用

自底向上的搜索策略，先进行模型分解，再利用分解得到的块进行排列。这个方法的问题在于，它先将模型分解成了一些固定的块，然后再用这些块去排列，导致了搜索的空间大大的被缩小了，从而大大降低了算法能够找到最优解的可能性。该方法是先分解，再排列的，我们希望在解决这个模型的分解与排列的问题的时候，分解与排列是能够同时进行的，这样就使得算法所能遍历到的模型分解情况与排列情况都大大的增加了。由于这是一个 NP-hard 问题，我们希望在有限的搜索时间内找到一个近似的最优解。考虑到目前的 3D 打印成型工艺从成型过程中是否需要支撑结构来讲主要分为两类，一类是基于粉末材料的粘合喷射法，以 3DP 为代表，另一类是基于树脂、塑料材料的以 FDM 为代表的成型工艺。在成型过程中，前者无需支撑结构，整体打印时间取决于模型在成型方向上的高度，打印材料取决于三维模型本身的耗费；后者需要支撑结构，整体打印时间与材料由三维模型本身以及支撑材料共同决定。本发明公开的方法适用于以上两类成型工艺，可以分别考虑两者不同的约束。另外，在分解与排列的过程中，我们希望模型被分解成的块数较少，以便于后期对模型的重新组装。

注：金字塔形状定义，满足金字塔属性的形状，是指，该形状具有这样一条底边（底面），从该形状的内部任意一点做该底边（底面）的垂线，这条垂线上的任意一点都在该形状内部，满足上述性质的形状即我们所说的金字塔形状。

发明内容

本发明为了解决上述问题，提出了一种面向 3D 打印的模型分解与排列的优化方法。该方法基于模型的近似金字塔分解和定向搜索策略，能够将模型分解成较少的块，并且根据不同的打印技术的约束排列进打印空间内，适用于粉末打印机和熔融沉积快速成型打印机。

一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法，包括以下步骤：

步骤一：给定一个模型 S ，打印空间 PV ，计算模型 S 初始的金字塔属性块分解，并将这些金字塔属性块体素化，生成第一个初始中间解 $isolu_0$ ；

步骤二：初始化中间解集合 $ISolu = \{isolu_0\}$ ，初始化最优完全解 P^* ；

步骤三：对中间解集合 $ISolu$ 中的每一个中间解 $isolu_i$ ，计算中间解产生的一系列候选中间解，并加入候选中间解集合 $CSolu$ ；

步骤四：对每个属于候选中间解集合 $CSolu$ 的 $csolu_i$ ，计算其局部目标函数值，并选出分数最高的 k 个候选中间解 $csolu_0, \dots, csolu_{k-1}$ ，并使得候选中间解集合 $CSolu = \{csolu_0, \dots, csolu_{k-1}\}$ ；

步骤五: 对每个属于候选中间解集合 CSolu 候选中间解的 $csolu_i$, 如果候选中间解 $csolu_i$ 是一个完全解了, 计算其目标函数值, 如果候选中间解 $csolu_i$ 的目标函数值大于 P^* 的目标函数值, 则 $P^* = csolu_i$; 否则舍弃该候选中间解 $csolu_i$;

如果候选中间解 $csolu_i$ 还不是一个完全解并且该中间解的目标函数值大于或等于 P^* 的目标函数值, 则将候选中间解 $csolu_i$ 加入中间解集合 ISolu;

步骤六: 如果中间解集合 ISolu 不为空, 则跳转到步骤三; 如果中间解集合 ISolu 为空, 则此时的 P^* 即为求解出的最优解, 根据 P^* 里打印空间里面块的排列情况, 提取出体素化的块实际对应于模型 S 的三维网格, 即求解出模型 S 的分解与排列最优解;

步骤七: 将步骤六提取出来的多个块的三维网格进行局部优化, 通过每个块的沿 Z 轴负方向平移, 将这些块排列的更加紧实, 由此, 得到了关于模型 S 的最优的分解与排列。

所述步骤一中的具体步骤为:

(1-1)将模型 S 进行金字塔属性块分解, 并变换这些金字塔属性块的朝向, 使其底面与xoy平面平行, 体素化得到一系列块 $\{p_0, p_1, p_2, \dots\}$;

(1-2)初始化中间解 $isolu_0$, 在 $isolu_0$ 中, $p_0, p_1, p_2, \dots$ 都未被排列进打印空间 PV。

所述步骤二中的具体步骤为:

(2-1) 初始化中间解集合, 令 $ISolu = \{isolu_0\}$;

(2-2) 初始化最优完全解 P^* , 令 P^* 的目标函数值为无穷最小值。

所述步骤三中的计算候选中间解的具体步骤为:

(3-1) 初始化候选中间解集合 CSolu 为空;

(3-2) 对于每个属于中间解集合 ISolu 的 $isolu_i$, 在该中间解中, 有块 $\{p_0, p_1, p_2, \dots\}$ 未被排列进打印空间 PV, 对于每个块在排列到打印空间的每个特定位置时会产生一系列的候选中间解;

(3-3) 将步骤(3-2)中产生的所有候选中间解加入候选中间解集合 CSolu。

进一步的, 对于步骤(3-2)中, 对于每个块以完整排列方式排列到打印空间的特定位置或者以部分排列方式排列到打印空间的每个特定位置;

对于每个块 p_i , 它可以绕着 x,y 或者 z 轴旋转 0° , 90° , 180° 或者 270° , 然后以移动窗口的形式在打印空间的底部移动, 即将块 p_i 排列到打印空间的每个特定位置, 产生一系列的候选中间解, 在这种情况下, 一个处在打印空间外的块被完整的排列进打印空间, 称其为完整排

列；

另外，一个块 p_i 还可以被一次横切或者竖切切分成两个块 p_{i0} ， p_{i1} ， p_{i0} 或者 p_{i1} 绕着 x,y 或者 z 轴旋转 0° ， 90° ， 180° 或者 270° ，然后以移动窗口的形式在打印空间的底部移动，即将块 p_{i0} 或者 p_{i1} 排列到打印空间的每个特定位置，产生一系列的候选中间解，在这种情况下，一个处在打印空间外的块只有被切分下来的部分块被排列进打印空间内部，余下的部分形成一个单独的块，留在打印空间外部，称其为部分排列。

所述步骤四中对于一个候选中间解的局部目标函数值计算方法为：

假设当前打印空间内部已经有由一些排列好的块组成的堆 D ，一个候选中间解就是将一个块 p 排列进打印空间内，与 D 形成一个新的堆 D' ，定义一个用来评估将块 p 排列进堆 D 的局部目标函数：

$$F_{local}(p, D) = \frac{\sum_{v \in p \oplus D} H_{GAIN}(v, D)}{n^\alpha} - \eta \cdot G_{PWD}(p \oplus D)$$

n : 当前候选中间解下所有的块数，包括排列或为排列进打印空间的所有块数；

v : $p \oplus D$ 形成的新的堆 D' 中的体素；

$G_{PWD}(p \oplus D)$: p ， D 形成的 D' 中所有垂直间隙的体素数量，这些垂直间隙将在打印的过程被粉末材料所暂时填充；

$H_{GAIN}(v, D)$: $1 - \frac{H_v}{H_{PV}}$ ， H_v 即体素 v 在打印空间中的高度， H_{PV} 即整个打印空间的高度；

α ， η : 用户输入指定，可调的参数。

所述步骤五中对于一个完全解的目标函数值的计算方法为：

$$F_{global} = \frac{H(PV) - H(D)}{N^\alpha}$$

N : 完全解中打印空间内的所有的块数；

$H(PV)$: 打印空间的高度；

$H(D)$: 完全解中打印空间内所有块排列成的堆 D 的高度；

α : 用户输入指定，可调的参数。

上述算法适用于粉末打印机。

进一步的，将步骤五中的目标函数改为以下的目标函数计算方式，即可将上述描述算法适用于熔融沉积快速成型打印机：

$$F_{global} = \frac{V(S) - G_{FDM}(D)}{N^\alpha}$$

$V(S)$: 为步骤一中对所有块的体素化之后所有体素的数量;

$G_{FDM}(D)$: 为堆 D 中所有垂直间隙的体素数量;

N : 完全解中打印空间内的所有的块数;

α : 用户输入指定, 可调的参数。

本发明的有益效果为: 解决打印模型太大, 不能放入打印空间内打印的问题, 提出新的算法, 根据不同打印机的打印约束, 将模型分解成较少的块, 有效的排列进打印空间, 使得打印过程有效的进行。

本发明的该方法基于模型的近似金字塔分解和定向搜索策略, 能够将模型分解成较少的块, 并且根据不同的打印技术的约束排列进打印空间内, 适用于粉末打印机和熔融沉积快速成型打印机。

注: 中间解, 中间解即不完全的解, 由打印空间和处在打印空间外的块组成, 在中间解中, 虽然打印空间内部有一些已经排列好的块, 但还有至少一个块还未被排列进入打印空间内部。

完全解, 不同于中间解, 所有的块已经全部被排列进入打印空间内部。

附图说明

图 1 为将模型四面体化后的切面图;

图 2 中展示了初始解, 由左边的一些未被排列进 PV 的块和空的 PV 组成;

图 3 为展示了从图 2 所述的初始解经过一次完整排列之后的中间解;

图 4 为展示了图 3 中的中间解经过一次部分排列之后所形成的中间解;

图 5 中, 是由图 4 所展示中间解再经过一步完整排列的结果所得到的最优解;

图 6 中所展示的是体素化的块中提取出来的对应于模型 S 的网格;

如图 7 中所示, 即是图 6 经过步骤 (7) 的局部优化后所得到的最终的结果;

图 8 本算法的具体流程图。

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。为了便于理解与说明, 部分以二维的附图形式来展示算法的细节。

为了实现适用于粉末打印机和熔融沉积快速成型打印机的模型的分解与排列, 本发明采用如下技术方案 (以下描述以粉末打印机为例, 并在最后给出如何将本方法用于熔融沉积快速成型打印机的描述)

本算法的具体流程图见图 8。

- (1) 给定一个模型 S , 打印空间 PV , 计算 S 初始的金字塔属性块分解, 并将这些金字塔属性块体素化, 生成第一个初始中间解 $isolu_0$ (在这个中间解中, 所有的块都未被排列进打 PV);
- (2) 初始化中间解集合 $ISolu = \{isolu_0\}$, 初始化最优完全解 P^* ;
- (3) 对 $ISolu$ 中的每一个中间解 $isolu_i$, 计算产生其一系列的候选中间解, 并加入候选中间解集合 $CSolu$; 清空 $ISolu = \emptyset$;
- (4) 对每个 $csolu_i$ 属于 $CSolu$, 计算其分数 (局部目标函数值), 并选出分数最高的 k 个候选中间解 $csolu_0, \dots, csolu_{k-1}$, 并使得 $CSolu = \{csolu_0, \dots, csolu_{k-1}\}$;
- (5) 对每个 $csolu_i$ 属于 $CSolu$,
如果 $csolu_i$ 是一个完全解了, 计算其目标函数值, 如果 $csolu_i$ 的目标函数值大于 P^* 的目标函数值, 则 $P^* = csolu_i$; 否则舍弃 $csolu_i$;
如果 $csolu_i$ 还不是一个完全解并且该中间解的目标函数值大于或等于 P^* 的目标函数值, 则将 $csolu_i$ 加入 $ISolu$, $ISolu = ISolu + \{csolu_i\}$;
- (6) 如果 $ISolu$ 不为空, 则跳转到步骤 (3); 如果 $ISolu$ 为空, 则此时的 P^* 即为求解出的最优解, 根据 P^* 里打印空间里面块的排列情况, 提取出体素化的块实际对应于 S 的三维网格, 即求解出 S 的分解与排列最优解。

如图 5 中, 是由图 4 所展示中间解再经过一步完整排列的结果所得到的最优解。该解由三个块组成, 并且排列的结果高度很低, 有利于加速粉末打印机的打印过程。

图 6 中所展示的是体素化的块中提取出来的对应于模型 S 的网格。

- (7) 将步骤 6 提取出来的多个块的三维网格进行局部优化, 通过每个块的沿 Z 轴负方向平移, 将这些块排列的更加紧实。由此, 我们得到了关于模型 S 的最优的分解与排列。

如图 7 中所示, 即是图 6 经过步骤 (7) 的局部优化后所得到的最终的结果。

所述步骤 (1) 中的具体步骤为:

- (1-1) 将 S 进行金字塔属性块分解, 并变换这些金字塔属性块的朝向, 使其底面与 xoy 平面平行, 体素化得到一系列块 $\{p_0, p_1, p_2, \dots\}$;

图 1 中, 展示了一个二维的例子, 图中左边分别列出了初始输入形状 (以及其

金字塔形状分解), 和其分解成的金字塔形状的体素化结果 (图右边)。

(1-2) 初始化中间解 $isolu_0$, 在 $isolu_0$ 中, $p_0, p_1, p_2, \dots$ 都未被排列进 PV;

图 2 中展示了初始解, 由左边的一些未被排列进 PV 的块和空的 PV 组成。

所述步骤 (2) 中的具体步骤为:

(2-1) 初始化中间解集合, 令 $ISolu = \{isolu_0\}$;

(2-2) 初始化最优完全解 P^* , 令 P^* 的目标函数值为无穷最小值;

所述步骤 (3) 中的计算候选中间解的具体步骤为:

(3-1) 初始化候选中间解集合为空 CSolu;

(3-2) 对于每个属于 ISolu 的 $isolu_i$, 在该中间解中, 有块 $\{p_0, p_1, p_2, \dots\}$ 未被排列进 PV。

对于每个块 p_i , 它可以绕着 x,y 或者 z 轴旋转 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 或者 270° , 然后以移动窗口的形式在打印空间的底部移动 (即将块 p_i 排列到打印空间的每个特定位置), 产生一系列的候选中间解。在这种情况下, 一个处在打印空间外的块被完整的排列进打印空间, 我们称其为完整排列;

图 3 为我们展示了从图 2 所述的初始解经过一次完整排列之后的中间解。

另外, 一个块 p_i 还可以被一次横切或者竖切切分成两个块 p_{i0}, p_{i1} (这里我们过滤掉切分结果不是两块的情况), p_{i0} 或者 p_{i1} 绕着 x,y 或者 z 轴旋转 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 或者 270° , 然后以移动窗口的形式在打印空间的底部移动 (即将块 p_{i0} 或者 p_{i1} 排列到打印空间的每个特定位置), 产生一系列的候选中间解。在这种情况下, 一个处在打印空间外的块只有被切分下来的部分块被排列进打印空间内部, 余下的部分形成一个单独的块, 留在打印空间外部, 我们称其为部分排列。

图 4 为我们展示了图 3 中的中间解经过一次部分排列之后所形成的中间解。

(3-3) 将步骤 (3-2) 中产生的所有候选中间解加入 CSolu。

所述步骤 (4) 中对一个候选中间解的局部目标函数值计算方法为:

假设当前打印空间内部已经有由一些排列好的块组成的堆 D, 一个候选中间解就是将一个块 p 排列进打印空间内, 与 D 形成一个新的堆 D'。我们定义一个用来评估将块 p 排列进堆 D 的局部目标函数:

$$F_{local}(p, D) = \frac{\sum_{v \in p \oplus D} H_{GAIN}(v, D)}{n^\alpha} - \eta \cdot G_{PWD}(p \oplus D)$$

n : 当前候选中间解下所有的块数（包括排列或为排列进打印空间的所有块数）；

v : $p \oplus D$ 形成的新的堆 D' 中的体素；

$G_{PWD}(p \oplus D)$: p , D 形成的 D' 中所有垂直间隙的体素数量，这些垂直间隙将在打印的过程中被粉末材料暂时填充；

$H_{GAIN}(v, D)$: $1 - \frac{H_v}{H_{PV}}$, H_v 即体素 v 在打印空间中的高度， H_{PV} 即整个打印空间的高度；

α, η : 用户输入指定，可调的参数。

所述步骤（5）中对于一个完全解的目标函数值的计算方法为：

$$F_{global} = \frac{H(PV) - H(D)}{N^\alpha}$$

N : 完全解中打印空间内的所有的块数；

$H(PV)$: 打印空间的高度；

$H(D)$: 完全解中打印空间内所有块排列成的堆 D 的高度；

α : 用户输入指定，可调的参数。

最后，通过将步骤（5）中的目标函数改为以下的目标函数计算方式，即可将上述描述算法适用于熔融沉积快速成型打印机：

$$F_{global} = \frac{V(S) - G_{FDM}(D)}{N^\alpha}$$

$V(S)$: 为步骤（1）中对所有块的体素化之后所有体素的数量；

$G_{FDM}(D)$: 为堆 D 中所有垂直间隙的体素数量；

N : 完全解中打印空间内的所有的块数；

α : 用户输入指定，可调的参数。

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。

权利要求书

1.一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法，其特征是，包括以下步骤：

步骤一：给定一个模型S，打印空间 PV，计算模型 S 初始的金字塔属性块分解，并将这些金字塔属性块体素化，生成第一个初始中间解 $isolu_0$ ；

步骤二：初始化中间解集合 $ISolu = \{isolu_0\}$ ，初始化最优完全解 P^* ；

步骤三：对中间解集合 ISolu 中的每一个中间解 $isolu_i$ ，计算中间解产生的一系列的候选中间解，并加入候选中间解集合 CSolu；

步骤四：对每个属于候选中间解集合 CSolu的 $csolu_i$ ，计算其局部目标函数值，并选出分数最高的 k 个候选中间解 $csolu_0, \dots, csolu_{k-1}$ ，并使得候选中间解集合 $CSolu = \{csolu_0, \dots, csolu_{k-1}\}$ ；

步骤五：对每个属于候选中间解集合 CSolu 候选中间解的 $csolu_i$ ，如果候选中间解 $csolu_i$ 是一个完全解了，计算其目标函数值，如果候选中间解 $csolu_i$ 的目标函数值大于 P^* 的目标函数值，则 $P^* = csolu_i$ ；否则舍弃该候选中间解 $csolu_i$ ；

如果候选中间解 $csolu_i$ 还不是一个完全解并且该中间解的目标函数值大于或等于 P^* 的目标函数值，则将候选中间解 $csolu_i$ 加入中间解集合 ISolu；

步骤六：如果中间解集合 ISolu 不为空，则跳转到步骤三；如果中间解集合 ISolu 为空，则此时的 P^* 即为求解出的最优解，根据 P^* 里打印空间里面块的排列情况，提取出体素化的块实际对应于模型 S 的三维网格，即求解出模型 S 的分解与排列最优解；

步骤七：将步骤六提取出来的多个块的三维网格进行局部优化，通过每个块的沿 Z 轴负方向平移，将这些块排列的更加紧实，由此，得到了关于模型 S 的最优的分解与排列。

2.如权利要求 1 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法，其特征是，所述步骤一中的具体步骤为：

(1-1)将模型 S 进行金字塔属性块分解，并变换这些金字塔属性块的朝向，使其底面与xoy平面平行，体素化得到一系列块 $\{p_0, p_1, p_2, \dots\}$ ；

(1-2)初始化中间解 $isolu_0$ ，在 $isolu_0$ 中， $p_0, p_1, p_2, \dots$ 都未被排列进打印空间 PV。

3.如权利要求 1 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法，其特征是，所述步骤二中的具体步骤为：

(2-1) 初始化中间解集合，令 $ISolu = \{isolu_0\}$ ；

(2-2) 初始化最优完全解 P^* ，令 P^* 的目标函数值为无穷最小值。

4.如权利要求 1 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法,其特征是,所述步骤三中的计算候选中间解的具体步骤为:

(3-1) 初始化候选中间解集合 CSolu 为空;

(3-2) 对于每个属于中间解集合 ISolu 的 $isolu_i$, 在该中间解中,有块 $\{p_0, p_1, p_2, \dots\}$ 未被排列进打印空间 PV, 对于每个块在排列到打印空间的一个特定位置时会产生一系列的候选中间解;

(3-3) 将步骤 (3-2) 中产生的所有候选中间解加入候选中间解集合 CSolu。

5.如权利要求 4 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法,其特征是,对于步骤(3-2)中,对于每个块以完整排列方式排列到打印空间的每个特定位置或者以部分排列方式排列到打印空间的一个特定位置。

6.如权利要求 5 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法,其特征是,对于每个块 p_i , 它可以绕着 x,y 或者 z 轴旋转 0° , 90° , 180° 或者 270° , 然后以移动窗口的形式在打印空间的底部移动,即将块 p_i 排列到打印空间的每个特定位置,产生一系列的候选中间解,在这种情况下,一个处在打印空间外的块被完整的排列进打印空间,称其为完整排列。

7.如权利要求 5 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法,其特征是,一个块 p_i 还可以被一次横切或者竖切切分成两个块 p_{i0} , p_{i1} , p_{i0} 或者 p_{i1} 绕着 x,y 或者 z 轴旋转 0° , 90° , 180° 或者 270° , 然后以移动窗口的形式在打印空间的底部移动,即将块 p_{i0} 或者 p_{i1} 排列到打印空间的每个特定位置,产生一系列的候选中间解,在这种情况下,一个处在打印空间外的块只有被切分下来的部分块被排列进打印空间内部,余下的部分形成一个单独的块,留在打印空间外部,称其为部分排列。

8.如权利要求 1 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法,其特征是,所述步骤四中对于一个候选中间解的局部目标函数值计算方法为:

假设当前打印空间内部已经有由一些排列好的块组成的堆 D, 一个候选中间解就是将一个块 p 排列进打印空间内,与 D 形成一个新的堆 D', 定义一个用来评估将块 p 排列进堆 D 的局部目标函数:

$$F_{local}(p, D) = \frac{\sum_{v \in p \oplus D} H_{GAIN}(v, D)}{n^\alpha} - \eta \cdot G_{PWD}(p \oplus D)$$

n: 当前候选中间解下所有的块数, 包括排列或为排列进打印空间的所有块数;

v : $p \oplus D$ 形成的新的堆 D' 中的体素;

$G_{PWD}(p \oplus D)$: p , D 形成的 D' 中所有垂直间隙的体素数量, 这些垂直间隙将在打印的过程被粉末材料所暂时填充;

$H_{GAIN}(v, D)$: $1 - \frac{H_v}{H_{PV}}$, H_v 即体素 v 在打印空间中的高度, H_{PV} 即整个打印空间的高度;

α , η : 用户输入指定, 可调的参数。

9.如权利要求 1 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法, 其特征是, 所述步骤五中对于一个完全解的目标函数值的计算方法为:

$$F_{global} = \frac{H(PV) - H(D)}{N^\alpha}$$

N : 完全解中打印空间内的所有的块数;

$H(PV)$: 打印空间的高度;

$H(D)$: 完全解中打印空间内所有块排列成的堆 D 的高度;

α : 用户输入指定, 可调的参数。

10.如权利要求 9 所述的一种面向 3D 打印的模型分解与排列方法, 其特征是, 将步骤五中的目标函数改为以下的目标函数计算方式, 即可将上述描述算法适用于熔融沉积快速成型打印机:

$$F_{global} = \frac{V(S) - G_{FDM}(D)}{N^\alpha}$$

$V(S)$: 为步骤一中对所有块的体素化之后所有体素的数量;

$G_{FDM}(D)$: 为堆 D 中所有垂直间隙的体素数量;

N : 完全解中打印空间内的所有的块数;

α : 用户输入指定, 可调的参数。

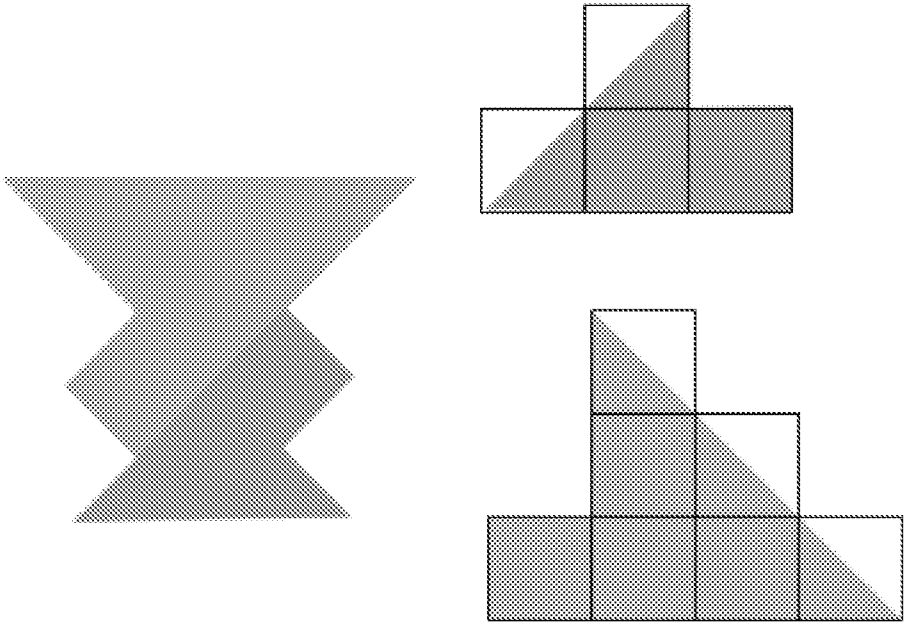


图 1

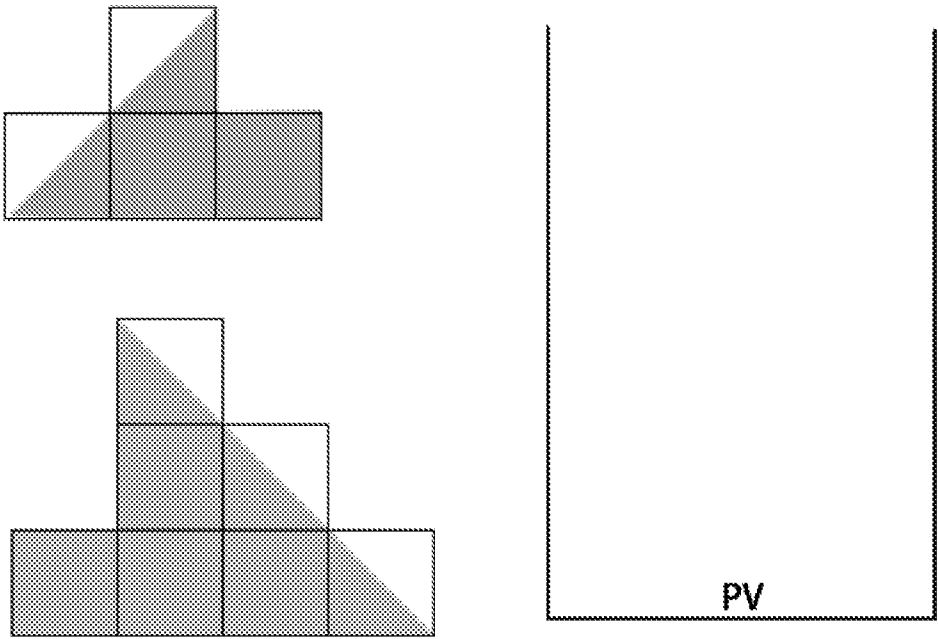


图 2

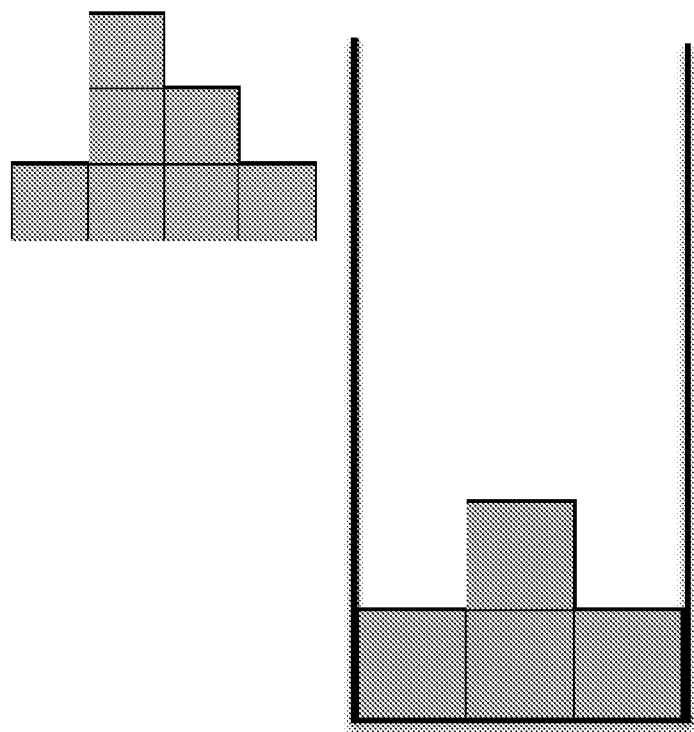


图 3

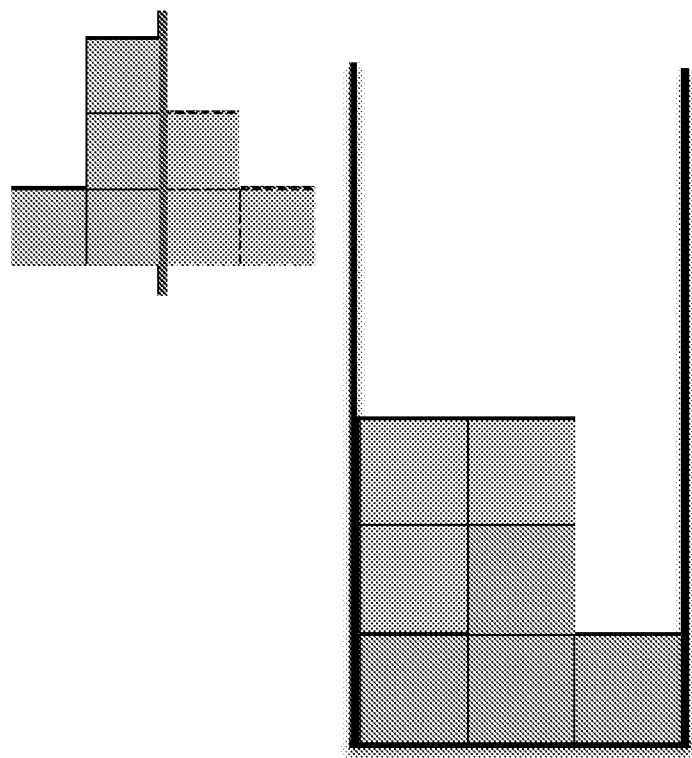


图 4

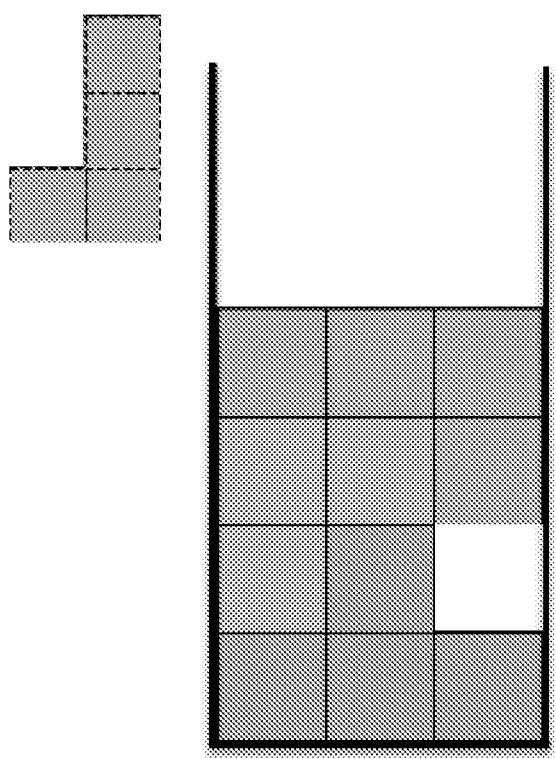


图 5

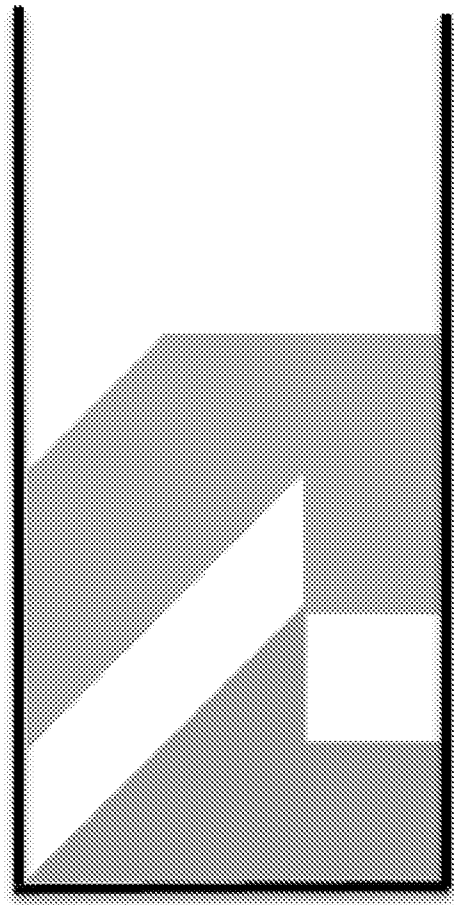


图 6

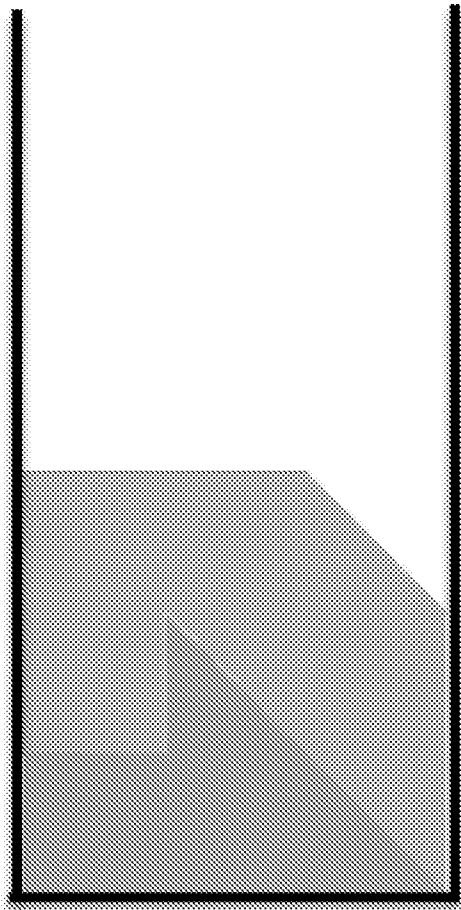


图 7

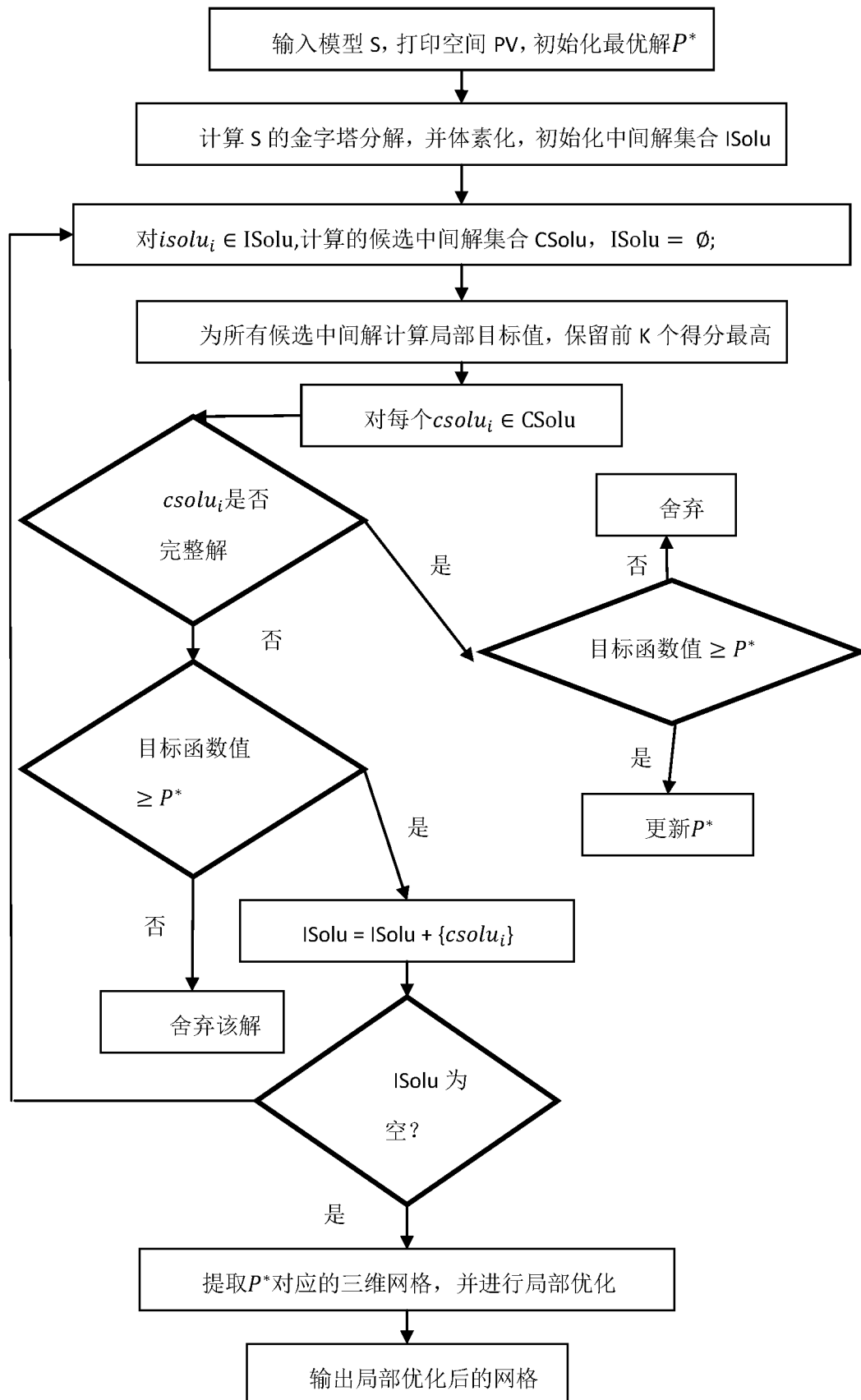


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/079151

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/00 (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)

G06T17/-

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)

DWPI SIPOABS CNABS CNKI: segmentation, 3D, voxel, function, UNIV SHANDONG, SHANDONG UNIVERSITY; CHEN, Baoquan; BEDRICH; CHEN, Xuelin; DANIEL; HU, Ruizhen; HUANG, Qixing; LIN, Jinjie; LV, Lin; decompos+, arrang+, pack, print+, pyramid+, intermediate solution, partial solution, complete solution, candidate, grid, model

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CHEN, Xuelin et al., "Dapper: Decompose-and-Pack for 3D Printing", ACM TRANSACTIONS ON GRAPHICS, vol. 34, no. 6, 04 November 2015 (04.11.2015), ISSN: 0730-0301, page 1, left column, line 11 from the bottom to page 12, left column, line 16 from the bottom	1-10
A	CN 104346832 A (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA), 11 February 2015 (11.02.2015), the whole document	1-10
A	US 2012163553 A1 (ANALOGIC CORP.), 28 June 2012 (28.06.2012), the whole document	1-10
PX	CN 105427374 A (SHANDONG UNIVERSITY), 23 March 2016 (23.03.2016), 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 17 June 2016 (17.06.2016)	Date of mailing of the international search report 04 July 2016 (04.07.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: 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 WANG, Kun Telephone No.: (86-10) 62412187

International application No.
PCT/CN2016/079151

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类 G06T 17/00 (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) G06T17/- 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)) DWPI SIPOABS CNABS CNKI 山东大学, 陈宝权, 陈学霖, 胡瑞珍, 黄其兴, 林金杰, 吕琳, 分解, 分割, 排列, 3D, 打印, 金字塔, 体素, 中间解, 完全解, 候选, 函数, 网格, 模型, UNIV SHANDONG, SHANDONG UNIVERSITY, CHEN BAOQUAN, BEDRICH, CHEN XUELIN, DANIEL, HU RUIZHEN, HUANG QIXING, LIN JINJIE, LV LIN, decompos+, arrang+, pack, print+, pyramid+, intermediate solution, partial solution, complete solution, candidate, grid, model																	
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>Xuelin Chen, etc. "Dapper: Decompose-and-Pack for 3D Printing" ACM Transactions on Graphics, 第34卷, 第6期, 2015年 11月 4日 (2015 - 11 - 04), ISSN: 0730-0301, 第1页左栏倒数第11行-第12页左栏倒数第16行</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104346832 A (中国科学技术大学) 2015年 2月 11日 (2015 - 02 - 11) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2012163553 A1 (ANALOGIC CORP) 2012年 6月 28日 (2012 - 06 - 28) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 105427374 A (山东大学) 2016年 3月 23日 (2016 - 03 - 23) 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	Xuelin Chen, etc. "Dapper: Decompose-and-Pack for 3D Printing" ACM Transactions on Graphics, 第34卷, 第6期, 2015年 11月 4日 (2015 - 11 - 04), ISSN: 0730-0301, 第1页左栏倒数第11行-第12页左栏倒数第16行	1-10	A	CN 104346832 A (中国科学技术大学) 2015年 2月 11日 (2015 - 02 - 11) 全文	1-10	A	US 2012163553 A1 (ANALOGIC CORP) 2012年 6月 28日 (2012 - 06 - 28) 全文	1-10	PX	CN 105427374 A (山东大学) 2016年 3月 23日 (2016 - 03 - 23) 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	Xuelin Chen, etc. "Dapper: Decompose-and-Pack for 3D Printing" ACM Transactions on Graphics, 第34卷, 第6期, 2015年 11月 4日 (2015 - 11 - 04), ISSN: 0730-0301, 第1页左栏倒数第11行-第12页左栏倒数第16行	1-10															
A	CN 104346832 A (中国科学技术大学) 2015年 2月 11日 (2015 - 02 - 11) 全文	1-10															
A	US 2012163553 A1 (ANALOGIC CORP) 2012年 6月 28日 (2012 - 06 - 28) 全文	1-10															
PX	CN 105427374 A (山东大学) 2016年 3月 23日 (2016 - 03 - 23) 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 2016年 6月 17日		国际检索报告邮寄日期 2016年 7月 4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 王昆 电话号码 (86-10)62412187															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/079151

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	104346832	A	2015年 2月 11日	无	
US	2012163553	A1	2012年 6月 28日	US 2015115494 A1	2015年 4月 30日
CN	105427374	A	2016年 3月 23日	无	