



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107145682 A

(43)申请公布日 2017.09.08

(21)申请号 201710403988.X

(22)申请日 2017.06.01

(71)申请人 浙江大学

地址 310013 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 傅建中 冯嘉炜 商策 林志伟 李斌

(74)专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 胡红娟

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

G06T 17/10(2006.01)

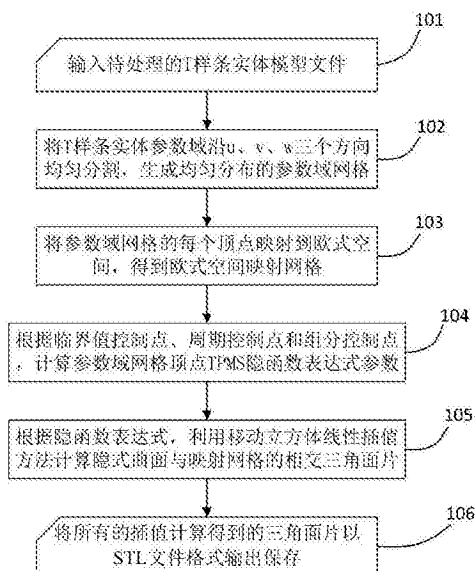
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,包括输入待处理的T样条实体模型;将参数域均匀分割生成参数域网格;将参数域网格的每个顶点映射到欧式空间得到映射网格;根据三周期极小曲面临界值、周期、组分控制点坐标,计算得到每个参数域网格顶点对应的三周期极小曲面隐函数表达式参数;利用移动立方体线性插值方法计算隐式曲面与映射网格的相交三角面片;最终将所有插值计算得到的三角面片以STL文件格式输出保存。本发明利用T样条实体控制点和基函数映射方法,实现了多孔支架的高自由度设计和快速生成,解决了传统布尔运算方法费时且错误繁多的缺陷,特别适用于组织工程多孔支架设计。



1. 一种基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,包括以下步骤:

步骤1:输入待处理的T样条实体模型文件,包含几何控制点坐标、节点矢量,以及三周期极小曲面临界值控制点坐标、周期控制点坐标、组分控制点坐标信息;

步骤2:将T样条实体参数域分别沿u、v、w三个方向均匀分割,生成均匀分布参数域网格;

步骤3:根据T样条实体混合函数和几何控制点坐标,将参数域网格的每个顶点映射到欧式空间,得到映射网格;

步骤4:根据T样条实体基函数和三周期极小曲面临界值控制点坐标、周期控制点坐标、组分控制点坐标,计算得到每个参数域网格顶点对应的三周期极小曲面隐函数表达式参数;

步骤5:根据三周期极小曲面的隐函数表达式,利用移动立方体线性插值方法计算隐式曲面与映射网格的相交三角面片;

步骤6:将所有插值计算得到的三角面片以STL文件格式输出保存。

2. 如权利要求1所述的基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,其特征在于,生成均匀分布参数域网格的具体方法为:根据均匀分割分辨率d,在u、v、w方向分别生成 $u=k/d$ ($k=0, \dots, d$)、 $v=k/d$ ($k=0, \dots, d$)、 $w=k/d$ ($k=0, \dots, d$)的等参数线,等参数线正交生成均匀等参数网格。

3. 如权利要求2所述的基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,步骤3中,参数域网格顶点坐标向欧式空间映射根据T样条公式 $\mathbf{S}(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i B_i(u, v, w) e_i)}{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) e_i)}$ 进行计算,其中 P_i 为第T样条实体的第i个几何控制点,n表示几何控制顶点的总个数, e_i 是几何控制点对应的权因子, $B_i(u, v, w)$ 为几何控制点对应的T样条实体混合函数,且 $B_i(u, v, w) = N_{i0}(u) N_{i0}(v) N_{i0}(w)$, $N_{i0}(u)$ 、 $N_{i0}(v)$ 和 $N_{i0}(w)$ 是三个参数域方向上的B样条基函数。

4. 如权利要求1所述的基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,步骤4中,参数域网格点对应的三周期极小曲面隐函数表达式参数包括:临界值参数 $C(u, v, w)$ 、周期参数 $\Omega(u, v, w)$ 、组分参数 $Q(u, v, w)$,且三者的计算公式分别为:

$$C(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) C_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$$

$$\Omega(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) \omega_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$$

$$Q(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) Q_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}。$$

5. 如权利要求4所述的基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,根据三周期极小曲面的隐函数表达式 $f(x, y, z) = C(u, v, w)$,利用移动立方体线性插值方法计算隐式曲面与映射网格的交点,具体步骤如下:

步骤5.1:以单个映射网格单元为对象,分别将映射网格单元的8个顶点坐标带入对应临界值参数、周期参数、以及组分参数的三周期极小曲面隐函数表达式,比较 $f(x, y, z)$ 与极

小曲面临界值 C 大小关系,找到极小曲面与映射网格单元相交的棱边;

步骤5.2:对于相交的棱边,两个顶点为 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$,利用线性插值计算得到交点 p :

$$P = (C - f(x_1, y_1, z_1)) \times \frac{P_2(x_2, y_2, z_2) - P_1(x_1, y_1, z_1)}{f(x_2, y_2, z_2) - f(x_1, y_1, z_1)} + P_1(x_1, y_1, z_1);$$

步骤5.3:将插值计算交点连接成三角面片,根据三个顶点 $P_a(x_a, y_a, z_a)$ 、 $P_b(x_b, y_b, z_b)$ 、 $P_c(x_c, y_c, z_c)$ 构成向量 $AB = (x_b - x_a, y_b - y_a, z_b - z_a)$, $AC = (x_c - x_a, y_c - y_a, z_c - z_a)$,三角面片法式 $n = AB \times AC$ 。

基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机辅助设计 (Computer aided design, CAD) 和组织工程技术领域, 尤其是涉及一种基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法。

背景技术

[0002] 组织工程技术是一种再生医学领域的热门技术, 医学家在生长因子的帮助下将人体细胞培养在组织工程支架上, 通过细胞的增殖分化生长成为具有特异功能的组织甚至器官, 实现人体缺损部位的移植修复。其中, 组织工程支架在细胞增殖分化过程中起到了至关重要的作用。作为细胞生长的支撑结构, 支架应是表面光滑贯通无扭曲或尖锐棱角的多孔结构, 便于细胞在支架上的附着和生长。此外, 多孔支架还承担着细胞生长过程中营养输送以及废弃物排除的重要功能, 理想的支架应具有较高的孔隙率与比表面积, 为细胞生长提供可靠的生物力学环境。

[0003] 传统组织工程支架一般通过静电纺丝、热致相分离、气体发泡、纤维粘结等方法制造, 但是这些方法制造的支架的孔结构贯通性、孔隙率、比表面积等性能都比较差, 孔的形状大小难以控制, 给后续的细胞培养带来了困难。随着增材技术的快速发展, 3D打印工艺给组织工程支架制造提供了新的可靠解决方案。3D打印技术制造此类组织工程支架多孔结构具有天然的优势, 基于层片叠加制造的原理, 错综复杂的多孔结构都可以轻松地制造成型。

[0004] 作为3D打印的数据输入, 组织工程支架计算机辅助设计吸引了国内外学者广泛的关注, 丰富多样的多孔结构被设计出来用作支架, 其中三周期极小曲面 (Triply Periodic Minimal Surfaces, TPMS) 尤为引人注目。作为一种极小曲面, TPMS曲面上各点平均曲率均为零, 表面平滑光滑, 在欧式空间三个方向上周期分布, 孔与孔之间相互贯通。此外, 通过修改TPMS隐函数表达式参数, 可以实现多孔大小和形状的精确定制, 特别适合组织工程支架应用需求。

[0005] T样条是CAD领域的最新几何建模技术, 是一种对传统非均匀有理B样条 (NURBS) 理论的推广, 在吸收了传统方法优点的基础上, 解决了曲面拼接问题并减少了建模数据量。T样条实体是T样条曲面拓展到三维参数域空间的结果, 外部控制点可用于设计模型表面外形, 内部控制点可用于存储模型内部材料信息或其他属性信息。凭借自由的拓扑结构和优良的建模特性, T样条有望成为下一个CAD模型标准。

[0006] 基于TPMS结构, 研究人员开发设计了不同的三周期极小曲面多孔支架设计方法。Melchels等人利用开源软件K3DSurf生成了在指定空间范围分布的均匀TPMS多孔支架 (参见Melchels F P W, Bertoldi K, Gabbriellini R, et al. Mathematically defined tissue engineering scaffold architectures prepared by stereolithography [J]. *Biomaterials*, 2010, 31 (27) : 6909-6916.); Yoo提出了一种基于距离场的TPMS多孔支架生成方法, 利用距离场算法, 实现TPMS结构与三维模型的布尔求交, 得到与设计外形相匹配的TPMS多孔支架 (参见Yoo D J. Porous scaffold design using the distance field and triply periodic minimal surface models [J]. *Biomaterials*, 2011, 32 (31) : 7741-

7754.);为了满足不同支架部位的孔隙率以及力学性能要求, Yang等人提出了一种基于高斯径向基函数的TPMS多孔非均匀支架设计方法, 并利用S型生长曲线设计多孔过渡区域, 最终利用布尔运算得到具有复杂外形的TPMS支架(参见Yang N, Quan Z, Zhang D, et al. Multi-morphology transition hybridization CAD design of minimal surface porous structures for use in tissue engineering[J]. Computer-Aided Design, 2014, 56:11-21.)。

[0007] 根据文献分析可知, 当前的三周期极小曲面多孔支架生成方法大多数基于布尔运算, 运算过程比较费时, 且会出现很多错误。非均匀TPMS多孔支架设计方面, 简单的函数映射方法难以反映真实的孔特征分布情况, 较多应用的径向基函数方法需要进行复杂的矩阵运算, 时间复杂度较高。此外, 未发现任何关于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法的文献。

发明内容

[0008] 为了解决现有基于布尔运算的TPMS多孔支架设计方法计算效率低、计算缺陷多的缺点, 本发明提供了一种基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法。利用T样条实体参数域特性, 实现复杂三维实体高效精确剖分与TPMS结构直接生成, 同时基于T样条控制点基函数特性, 实现内部非均匀多孔特征自由设计。该方法稳定可靠, 充分利用T样条实体优势, 实现TPMS多孔支架外部自由形状和内部复杂多孔结构的一体化设计。

[0009] 本发明的技术方案为: 一种基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法, 包括以下步骤:

[0010] 步骤1: 输入待处理的T样条实体模型文件, 包含几何控制点坐标、节点矢量, 以及三周期极小曲面临界值控制点坐标、周期控制点坐标、组分控制点坐标信息;

[0011] 步骤2: 将T样条实体参数域分别沿u、v、w三个方向均匀分割, 生成均匀分布参数域网格;

[0012] 步骤3: 根据T样条实体混合函数和几何控制点坐标, 将参数域网格的每个顶点映射到欧式空间, 得到映射网格;

[0013] 步骤4: 根据T样条实体基函数和三周期极小曲面临界值控制点坐标、周期控制点坐标、组分控制点坐标, 计算得到每个参数域网格顶点对应的三周期极小曲面隐函数表达式参数;

[0014] 步骤5: 根据三周期极小曲面的隐函数表达式, 利用移动立方体线性插值方法计算隐式曲面与映射网格的相交三角面片;

[0015] 步骤6: 将所有插值计算得到的三角面片以STL文件格式输出保存。

[0016] 步骤1中, 输入的T样条实体表示为 $S(u, v, w)$, 其中u、v、w为三个参数域参数, 且 $u, v, w \in [0, 1]$, 第i个几何控制点坐标表示为 $P_i(x, y, z)$, 节点矢量表示为 $u_i = [u_{i0}, u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, u_{i4}]$, $v_i = [v_{i0}, v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, v_{i4}]$, $w_i = [w_{i0}, w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, w_{i4}]$, 三周期极小曲面临界值控制点坐标、周期控制点坐标和组分控制点坐标分别表示为 C_i 、 ω_i 和 $Q_i(q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{im})$, 其中, $\sum_{j=1}^m q_{ij} = 1$, q_{ij} 表示第i个几何控制顶点对应的组分控制点的第j个组分单元, m表示组分单元的总个数。

[0017] 步骤2中, 生成均匀分布参数域网格的具体方法为: 根据均匀分割分辨率d, 在u、v、

w方向分别生成 $u=k/d$ ($k=0, \dots, d$)、 $v=k/d$ ($k=0, \dots, d$)、 $w=k/d$ ($k=0, \dots, d$)的等参数线,等参数线正交生成均匀等参数网格。

[0018] 步骤3中,参数域网格顶点坐标向欧式空间映射根据T样条公式

$$\mathbf{S}(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i B_i(u, v, w) e_i)}{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) e_i)}$$

进行计算,其中 P_i 为T样条实体的第 i 个几何控制点, n 表示几何控制顶点的总个数, e_i 是几何控制点对应的权因子, $B_i(u, v, w)$ 为几何控制点对应的T样条实体混合函数,且 $B_i(u, v, w) = N_{i0}(u) N_{i0}(v) N_{i0}(w)$, $N_{i0}(u)$ 、 $N_{i0}(v)$ 和 $N_{i0}(w)$ 是三个参数域方向上的B样条基函数,每个参数域网格顶点根据其参数域坐标和节点矢量即可计算出映射到欧式空间的三维坐标。

[0019] 步骤4中,参数域网格点对应的三周期极小曲面隐函数表达式参数包括:临界值参数 $C(u, v, w)$ 、周期参数 $\Omega(u, v, w)$ 、组分参数 $Q(u, v, w)$,且三者的计算公式分别为:

$$[0020] \quad C(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) C_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$$

$$[0021] \quad \Omega(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) \omega_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$$

$$[0022] \quad Q(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) Q_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$$

[0023] 将计算得到的三个参数带入 $f(x, y, z) = C(u, v, w)$ 即可得到每个参数域网格顶点对应的三周期极小曲面隐函数表达式。例如包含G、D、P三种三周期极小曲面单元的情况,代入三个参数即可得到每个参数域网格顶点对应 $f(x, y, z) = Q_G(u, v, w) f_G(\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z) + Q_D(u, v, w) f_D(\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z) + Q_P(u, v, w) f_P(\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z) = C(u, v, w)$ 表达式。

[0024] 步骤5中,根据三周期极小曲面的隐函数表达式 $f(x, y, z) = C(u, v, w)$,利用移动立方体线性插值方法计算隐式曲面与映射网格的交点,具体步骤如下:

[0025] 步骤5.1:以单个映射网格单元为对象,分别将映射网格单元的8个顶点坐标带入对应临界值参数、周期参数、以及组分参数的三周期极小曲面隐函数表达式,比较 $f(x, y, z)$ 与极小曲面临界值 C 大小关系,找到极小曲面与映射网格单元相交的棱边;

[0026] 步骤5.2:对于相交的棱边,两个顶点为 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$,利用线性插值计算得到交点 p :

$$[0027] \quad P = (C - f(x_1, y_1, z_1)) \times \frac{P_2(x_2, y_2, z_2) - P_1(x_1, y_1, z_1)}{f(x_2, y_2, z_2) - f(x_1, y_1, z_1)} + P_1(x_1, y_1, z_1);$$

[0028] 步骤5.3:将插值计算交点连接成三角面片,根据三个顶点 $P_a(x_a, y_a, z_a)$ 、 $P_b(x_b, y_b, z_b)$ 、 $P_c(x_c, y_c, z_c)$ 构成向量 $AB = (x_b - x_a, y_b - y_a, z_b - z_a)$, $AC = (x_c - x_a, y_c - y_a, z_c - z_a)$,三角面片法式 $n = AB \times AC$ 。

[0029] 本发明基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法,具有的有益效果是:

[0030] 利用T样条实体参数域特征,实现复杂三维模型的高效精确剖分,进而在剖分得到的单元体上插值计算出三周期极小曲面,避免了传统方法首先必须生成一个比目标实体大的TPMS结构,再与目标实体进行布尔运算带来的计算费时、缺陷繁多的缺点。此外,充分利用T样条控制点映射算法,实现了TPMS隐函数参数的高效可控,进而可以设计生成具有复杂

分布结构的非均匀TPMS多孔支架,更容易满足组织工程技术的实际需求。本发明方法精确稳定可靠,为后续3D打印工艺提供了可靠的多孔支架三维模型。

附图说明

[0031] 图1为本发明基于T样条实体的三周期极小曲面多孔支架设计方法的流程图。

[0032] 图2为圆柱T样条实体示例图:(a)为圆柱T样条实体参数域网格,(b)为圆柱T样条实体欧式空间模型。

[0033] 图3为圆柱T样条实体剖分示意图:(a)为均匀分割后的圆柱T样条实体参数域网格,(b)为圆柱T样条实体映射网格。

[0034] 图4为圆柱T样条实体TPMS多孔支架直接生成结果示意图。

[0035] 图5(a)为实施例1肝脏T样条实体模型及其控制网格,图5(b)为基于实施例1肝脏T样条实体模型生成的均匀P曲面多孔支架。

[0036] 图6(a)为实施例2股骨T样条实体模型及其控制网格,图6(b)为基于实施例2股骨T样条实体模型生成的非均匀TPMSP曲面多孔支架。

具体实施方式

[0037] 为了更为具体地描述本发明,下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案进行详细说明。

[0038] 本发明一种基于T样条曲面的三维打印切片方法流程图如图1所示,具体实施步骤如下:

[0039] 步骤101:输入待处理的T样条实体模型文件,图2(a)为圆柱T样条实体参数域,图2(b)为圆柱T样条实体欧式空间模型。

[0040] 输入的T样条实体表示为 $S(u, v, w)$,其中 u, v, w 为三个参数域参数,且 $u, v, w \in [0, 1]$ 。该T样条实体模型文件包含几何控制点坐标 $P_i(x, y, z)$,节点矢量 $u_i = [u_{i0}, u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, u_{i4}]$ 、 $v_i = [v_{i0}, v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, v_{i4}]$ 、 $w_i = [w_{i0}, w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, w_{i4}]$,以及三周期极小曲面临界值控制点坐标 C_i 、周期控制点坐标 ω_i 和组分控制点坐标信息 $Q_i(q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{im})$,其中, $\sum_{j=1}^m q_{ij} = 1$ 。

[0041] 步骤102:根据均匀分割分辨率 d ,在 u, v, w 方向分别生成 $u = k/d (k=0, \dots, d)$ 、 $v = k/d (k=0, \dots, d)$ 、 $w = k/d (k=0, \dots, d)$ 的等参数线,如图3(a)所示,将图2(a)参数域三个方向取 $d=10$ 进行均匀分割,等参数线正交生成均匀等参数网格。

[0042] 步骤103:根据T样条实体基函数和几何控制点坐标,利用T样条计算公式

$$S(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i B_i(u, v, w) e_i}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w) e_i}$$
进行映射计算,其中 P_i 为T样条实体的第 i 个几何控制点, n 表示几何控制顶点的总个数, e_i 是几何控制点对应的权因子, $B_i(u, v, w)$ 为几何控制点对应的T样条实体混合函数,计算公式为 $B_i(u, v, w) = N_{i0}(u) N_{i0}(v) N_{i0}(w)$, $N_{i0}(u)$ 、 $N_{i0}(v)$ 和 $N_{i0}(w)$ 是三个参数域方向上的B样条基函数,每个参数域网格顶点根据其参数域坐标和节点矢量即可计算出映射到欧式空间的三维坐标,如图3(b)即为图3(a)对应的映射网格。

[0043] 步骤104:根据T样条实体基函数和三周期极小曲面临界值控制点坐标、周期控制点坐标

和组分控制点坐标,即根据公式 $C(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) C_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$ 、 $\Omega(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) \omega_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$ 、

$Q(u, v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i(u, v, w) Q_i)}{\sum_{i=1}^n B_i(u, v, w)}$ 计算得到每个参数域网格顶点对应的三周期极小曲面隐函数表达式参数。

[0044] 步骤105:以TPMS中的G曲面为例,根据隐函数表达式 $f(x, y, z) = \sin(\omega_{xx}) \cos(\omega_{yy}) + \sin(\omega_{zz}) \cos(\omega_{xx}) + \sin(\omega_{yy}) \cos(\omega_{zz}) = C$,利用移动立方体线性插值方法计算隐式曲面与映射网格的交点,具体步骤如下:

[0045] 步骤5.1:以单个映射网格单元为对象,分别将映射网格单元的8个顶点坐标带入对应参数的三周期极小曲面隐函数表达式,比较 $f(x, y, z)$ 与极小曲面临界值 C 大小关系,找到极小曲面与映射网格单元相交的棱边;

[0046] 步骤5.2:对于相交的棱边,两个顶点为 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$,利用线性插值计算得到交点 p :

$$[0047] \quad P = (C - f(x_1, y_1, z_1)) \times \frac{P_2(x_2, y_2, z_2) - P_1(x_1, y_1, z_1)}{f(x_2, y_2, z_2) - f(x_1, y_1, z_1)} + P_1(x_1, y_1, z_1);$$

[0048] 步骤5.3:将插值计算交点连接成三角面片,根据三个顶点 $P_a(x_a, y_a, z_a)$ 、 $P_b(x_b, y_b, z_b)$ 、 $P_c(x_c, y_c, z_c)$ 构成两个向量 $AB = (x_b - x_a, y_b - y_a, z_b - z_a)$ 、 $AC = (x_c - x_a, y_c - y_a, z_c - z_a)$,三角面片法向量 $n = AB \times AC$ 。最终生成的圆柱T样条实体多孔支架如图4所示。

[0049] 步骤6:将所有插值计算得到的三角面片以STL文件格式输出保存。

[0050] 本发明的两个典型实施实例如下:

[0051] 实施例1

[0052] 选取一个肝脏T样条实体模型,如图5(a)所示。该模型用来测试本发明利用T样条实体参数域特性直接生成具有特定外部形状的统一TPMS多孔支架效果。该模型临界值控制点 C_i 均等于0,周期控制点 ω_i 均等于0.125,所有组分控制点 $Q_i (q_{iP}, q_{iG}, q_{iD}) = (1, 0, 0)$,即只包含P曲面。

[0053] 图5(b)显示了实施例1肝脏T样条实体模型对应生成的统一TPMS多孔支架。可以明显地看出,该多孔结构具有和初始输入T样条实体模型一致的外部形状,避免了费时的布尔运算,实现了TPMS多孔支架的直接生成。

[0054] 实施例2

[0055] 选取一个股骨T样条实体模型,如图6(a)所示。考虑到股骨支架不同部位的组织工程需求,分别在不同部位选取了P曲面、G曲面和D曲面作为多孔单元以及对应的临界值、周期,最终生成的TPMS非均匀多孔支架如图6(b)所示。可以清晰地看出,基于T样条实体控制点和基函数映射的方法,复杂内部形貌以及指定外部特征的非均匀TPMS多孔支架都可以生成,设计者只需要改变所需部位控制点的相关参数,即可对应得到可控特征的复杂支架结构,特别适合组织工程支架设计的实际应用,说明了本方法在设计三周期极小曲面多孔支架的高效性。

[0056] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的一般技术人员来说,本发明还可以有各种更改和变化。在不脱离本发明原理的前提下,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

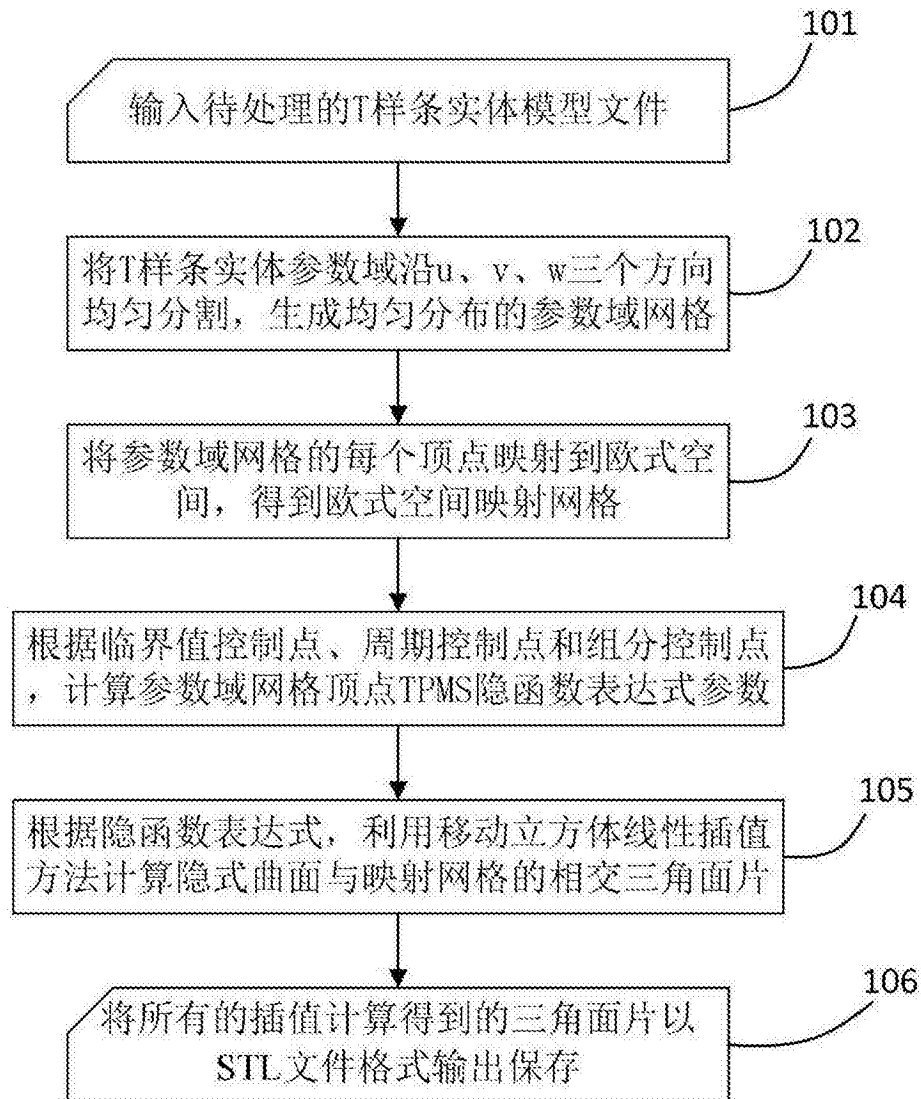


图1

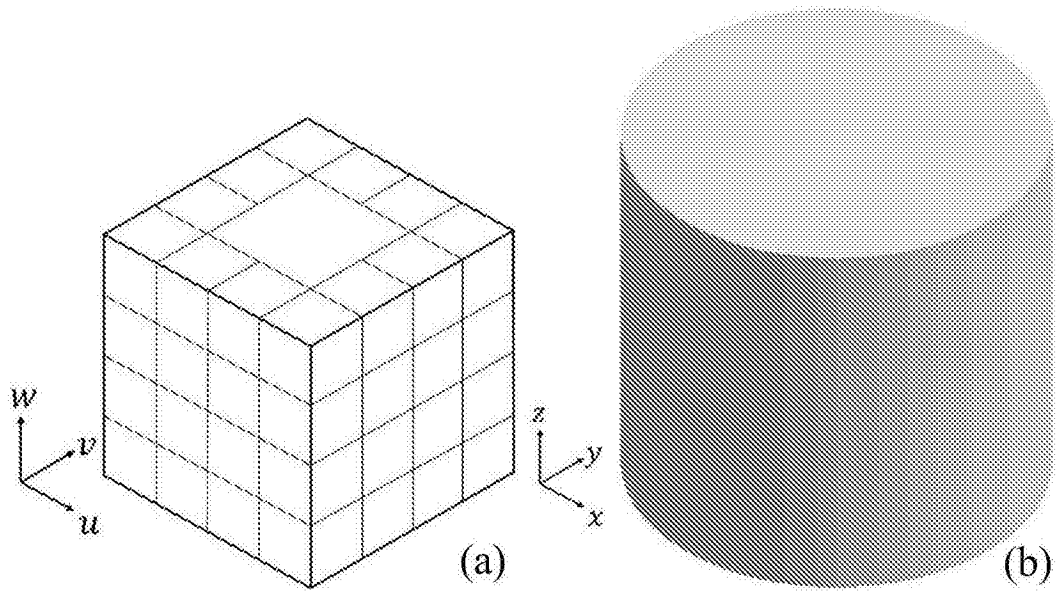


图2

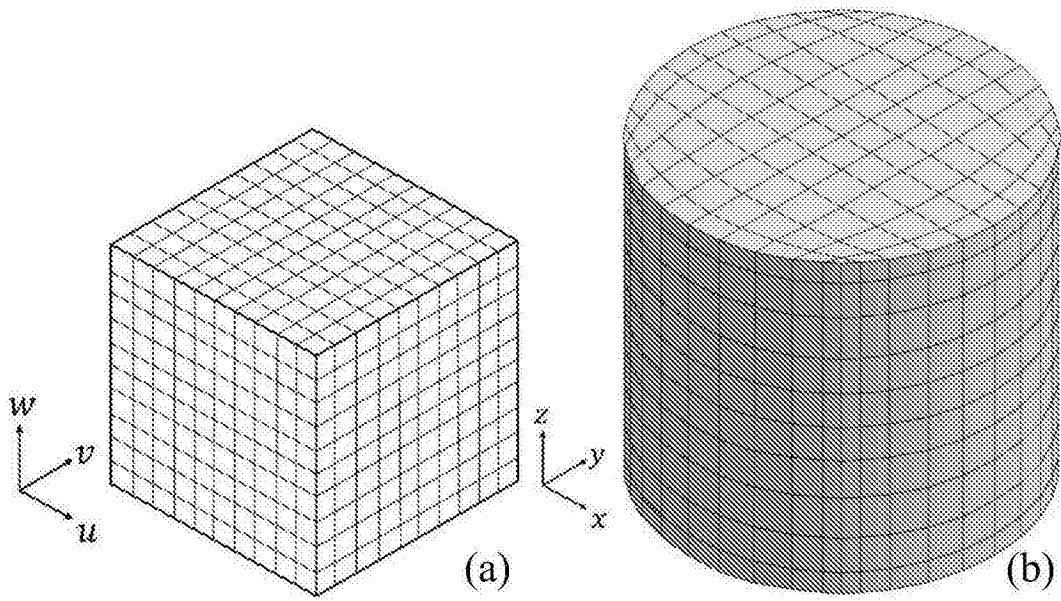


图3

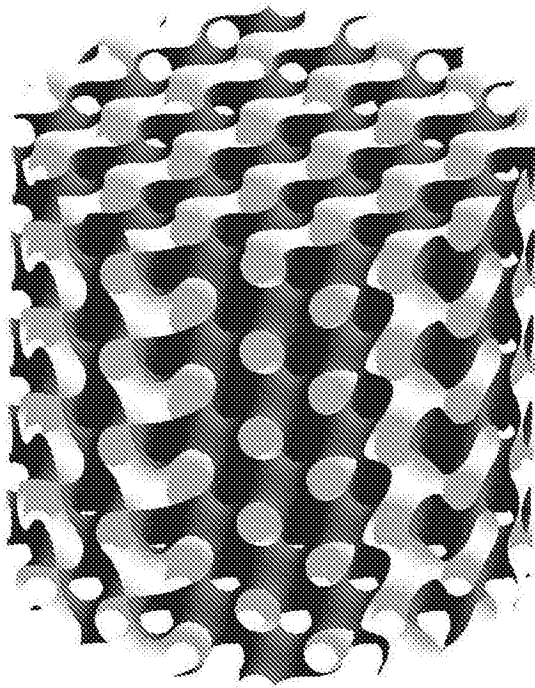


图4

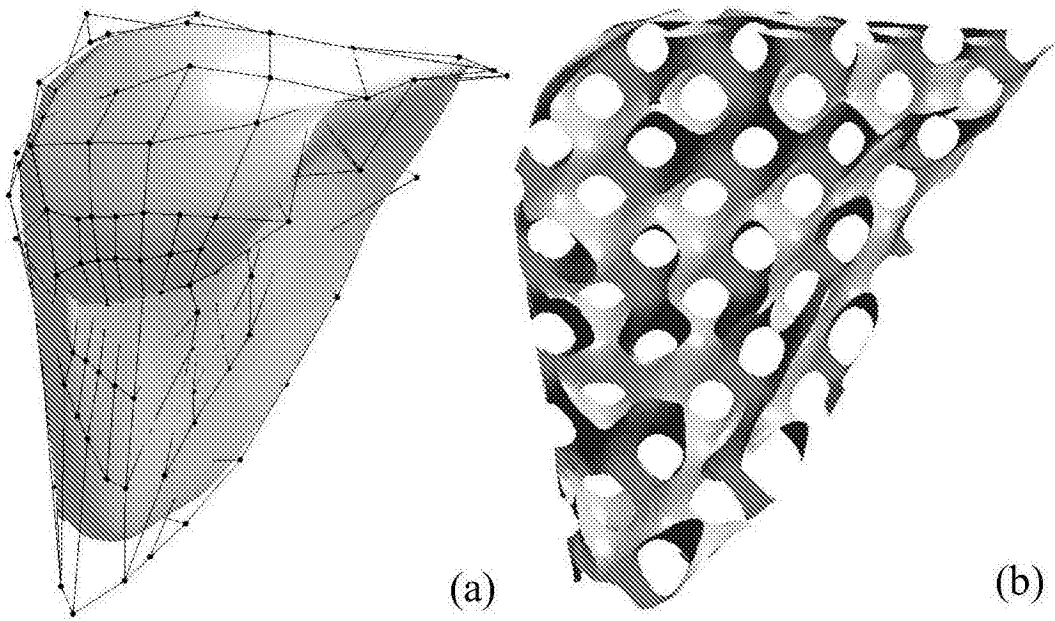


图5

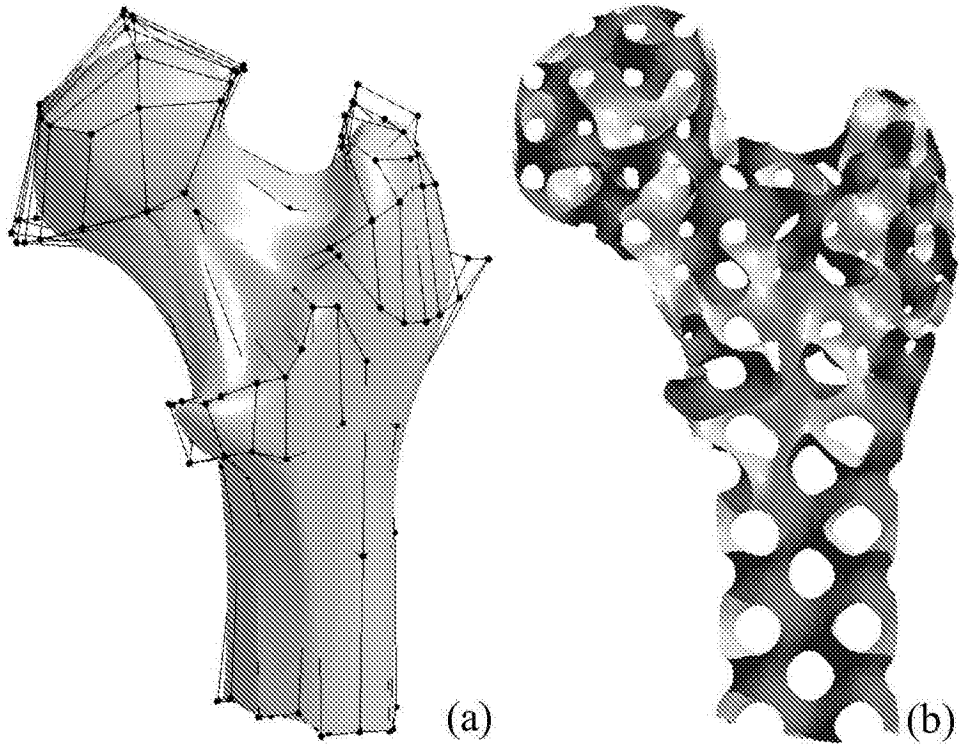


图6