



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108327287 A

(43)申请公布日 2018.07.27

(21)申请号 201810040995.2

(22)申请日 2018.01.16

(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 林志伟 商策

(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.

B29C 64/386(2017.01)

B33Y 50/00(2015.01)

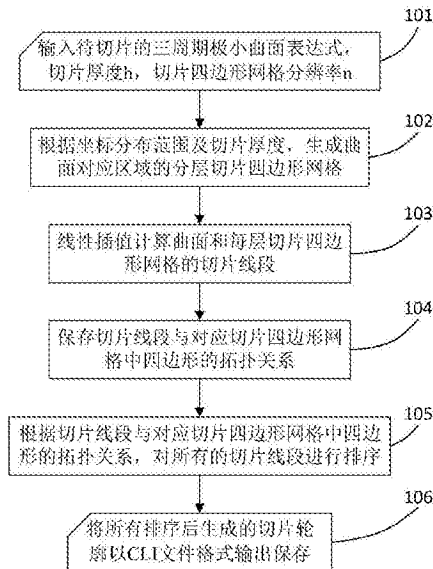
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法

(57)摘要

本发明公开了一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓快速生成方法,包括输入待切片的三周期极小曲面表达式、切片厚度以及切片四边形网格分辨率;根据三周期极小曲面坐标分布范围及切片厚度,生成曲面对应区域的分层切片四边形网格;根据三周期极小曲面坐标分布范围及切片厚度,生成曲面对应区域的切片四边形网格;根据曲面表达式,线性插值计算曲面和每层切片四边形网格的切片线段;保存切片线段与对应切片四边形网格中四边形的拓扑关系;对所有的切片线段进行排序;最终将所有排序后生成的切片轮廓以CLI文件格式输出保存。本发明利用切片四边形网格实现对三周期极小曲面的快速切片以及切片散落线段的快速排序,快速生成三维打印切片轮廓,避免了传统方法必须生成STL模型消耗大量时间和内存空间的缺点。



1. 一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:输入待切片的三周期极小曲面的表达式 $f(x, y, z) = c$,切片厚度 h ,切片四边形网格分辨率 n ,其中 c 为曲面临界值常数, $x \in [a_0, a_1]$, $y \in [b_0, b_1]$, $z \in [c_0, c_1]$;

步骤2:根据三周期极小曲面的坐标分布范围及切片厚度,生成曲面对应区域的切片四边形网格;

步骤3:根据三周期极小曲面表达式 $f(x, y, z) = c$,线性插值计算曲面和每层切片四边形网格的切片线段;

步骤4:保存切片线段和与该切片线段对应的切片四边形网格中四边形的拓扑关系;

步骤5:根据切片线段和与该切片线段对应的切片四边形网格中四边形的拓扑关系,对切片线段进行排序;

步骤6:将所有排序后生成的切片轮廓以CLI文件格式输出保存。

2. 如权利要求1所述的三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法,其特征在于,所述生成曲面对应区域的切片四边形网格的具体过程为:

首先,根据切片厚度 h ,将曲面对应区域分成 $\frac{c_1 - c_0}{h}$ 个平面;

然后对于平面 $z_i = ih$, ($i = 1, \dots, \frac{c_1 - c_0}{h}$),根据切片四边形网格分辨率 n ,分别沿 x 、 y 方向分别生成 j 个平行线,其中:

$$\text{平行线 } x_j = a_0 + \frac{j}{n}(a_1 - a_0), (j = 0, \dots, n);$$

$$\text{平行线 } y_j = b_0 + \frac{j}{n}(b_1 - b_0), (j = 0, \dots, n);$$

平行线 x_j 和 y_j 正交,生成曲面对应区域的切片四边形网格。

3. 如权利要求1所述的三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法,其特征在于,所述步骤3的具体过程为:

将每层切片四边形网格的顶点坐标代入三周期极小曲面函数表达式中,对于四边形 P_1P_2 ,其中两个顶点的三维坐标为 $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$,利用线性插值方法计算得到切片线段端点 P_0 :

$$P_0 = P_1 + (c - f(x_1, y_1, z_1)) \frac{P_2 - P_1}{f(x_2, y_2, z_2) - f(x_1, y_1, z_1)}$$

即可得到曲面和所有切片四边形网格的切片线段。

利用该方法即可得到曲面和所有切片层四边形网格的切片线段。

4. 如权利要求1所述的三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法,其特征在于,所述步骤4的具体过程为:

建立切片线段数据结构和四边形数据结构,切片线段数据结构保存切片线段的2个顶点信息和与切片线段对应的相交四边形信息,四边形数据结构保存四边形的4个顶点信息和与四边形对应的切片线段信息,以此建立所有切片线段和与该切片线段对应的四边形的对应拓扑关系。

5. 如权利要求1所述的三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法,其特征在

于,所述步骤5的具体过程为:

步骤5-1:对于一条未排序的切片线段,找到与该切片线段对应的相交四边形;

步骤5-2:根据该四边形坐标,在四边形网格中找到与该四边形相邻的四边形;

步骤5-3:判断该相邻的四边形中是否存在与该相邻的四边形对应的切片线段;

步骤5-4:找到和当前切片线段拥有相同坐标的相邻线段;

步骤5-5:重复步骤5-1至步骤5-4即可完成切片线段的排序,有序的切片线段即为最终的切片轮廓。

一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法

技术领域

[0001] 本发明涉及三维打印计算机辅助制造 (Computer aided manufacturing, CAM) 技术领域,尤其是涉及一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法。

背景技术

[0002] 三维打印技术是一种基于层片叠加的先进制造技术,又被称为快速原型技术或增材制造技术。不同于传统机加工等不断削减材料以得到设计形状的工艺方法,三维打印技术利用各类材料,借助计算机辅助设备层层叠加得到设计模型,特别适合复杂结构的快速制造成型。三维打印切片轮廓生成是影响制造最终精度与效率的关键环节。

[0003] 为了在精度与效率之间找到比较理想的平衡点,国内外学者在切片轮廓生成方面做了大量的工作,针对不同的三维模型数据,提出了各类切片生成方法。当前在三维打印领域,STL是最为常用的模型数据格式。STL用大量的三角面片逼近设计模型形状,数据结构简单,便于处理。但是为了提高建模精度,必须大大增加面片数量,进而消耗大量的内存和处理时间。特别在建模复杂拓扑结构时,STL的劣势表现的更为明显,大量的面片和一些难以处理的面片缺陷经常会导致切片轮廓生成的失败。

[0004] 三周期极小曲面TPMS (Triply Periodic Minimal Surfaces) 是一种具有复杂拓扑结构的隐式曲面。其光滑的表面以及内外连通的孔洞结构在工程领域有着广泛的应用。三维打印具有制造此类复杂结构的天然优势。Melchels等人将设计的TPMS结构保存为STL文件利用三维打印工艺进行制造,进而作为组织工程支架进行细胞培养(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.); Li等人生成STL格式的TPMS结构作为三维打印模型的填充结构,实现打印轻量化目的(参见Li D, Dai N, Jiang X, et al. Interior structural optimization based on the density-variable shape modeling of 3D printed objects[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 83(9-12): 1627-1635)。切片线段排序处理方面, Kim提出了一种网格模型的切片轮廓暴力生成方法,方法实施简单但时间复杂度高达 $O(n^2)$ (参见Kim H C. Tool path generation for contour parallel milling with incomplete mesh model[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 48(5): 443-454); Lin等人提出了一种针对STL切片线段的优化排序算法,时间复杂度 $O(n \log n)$ (参见Lin Z, Fu J, Shen H, et al. Efficient cutting area detection in roughing process for meshed surfaces[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 69(1-4): 525-530)。

[0005] 根据文献分析可知,当前利用三维打印技术制造三周期极小曲面均需先生成STL模型,再进行基于STL的切片。由于结构错综复杂,一般生成的STL模型文件较大,需要消耗很多内存和处理时间。当前的一些切片线段排序算法在处理大数据量下排序问题时效率低

下,无法高效生成切片轮廓。此外,未发现任何关于三周期极小曲面切片轮廓生成方法的文献。

发明内容

[0006] 为了解决现有基于STL模型的三周期极小曲面三维打印切片效率低、消耗内存大的缺点,本发明提供了一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法。通过构建切片四边形网格,快速实现三周期极小曲面的直接切片分层,避免传统方法STL模型的生成。同时充分利用切片四边形网格和切片线段的拓扑关系,快速进行切片线段排序生成最终切片轮廓,时间复杂度仅为线性 $O(n)$ 。该方法稳定可靠,可以实现三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成。

[0007] 为实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0008] 一种三周期极小曲面三维打印切片轮廓的快速生成方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤1:输入待切片的三周期极小曲面的表达式 $f(x, y, z) = c$,切片厚度 h ,切片四边形网格分辨率 n ,其中 c 为曲面临界值常数, $x \in [a_0, a_1]$, $y \in [b_0, b_1]$, $z \in [c_0, c_1]$;

[0010] 步骤2:根据三周期极小曲面的坐标分布范围及切片厚度,生成曲面对应区域的切片四边形网格;

[0011] 步骤3:根据三周期极小曲面表达式 $f(x, y, z) = c$,线性插值计算曲面和每层切片四边形网格的切片线段;

[0012] 步骤4:保存切片线段和与该切片线段对应的切片四边形网格中四边形的拓扑关系;

[0013] 步骤5:根据切片线段和与该切片线段对应的切片四边形网格中四边形的拓扑关系,对切片线段进行排序;

[0014] 步骤6:将所有排序后生成的切片轮廓以CLI文件格式输出保存。

[0015] 其中,所述生成曲面对应区域的切片四边形网格的具体过程为:

[0016] 首先,根据切片厚度 h ,将曲面对应区域分成 $\frac{c_1 - c_0}{h}$ 个平面;

[0017] 然后对于平面 $z_i = ih, (i = 1, \dots, \frac{c_1 - c_0}{h})$,根据切片四边形网格分辨率 n ,分别沿 x 、 y 方向分别生成 j 个平行线,其中:

[0018] 平行线 $x_j = a_0 + \frac{j}{n}(a_1 - a_0), (j = 0, \dots, n)$;

[0019] 平行线 $y_j = b_0 + \frac{j}{n}(b_1 - b_0), (j = 0, \dots, n)$;

[0020] 平行线 x_j 和 y_j 正交,生成曲面对应区域的切片四边形网格。

[0021] 优选地,所述步骤3的具体过程为:

[0022] 将每层切片四边形网格的顶点坐标代入三周期极小曲面函数表达式中,对于四边形 P_1P_2 ,其中两个顶点的三维坐标为 $P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2)$,利用线性插值方法计算得到切片线段端点 P_0 :

[0023]
$$P_0 = P_1 + (c - f(x_1, y_1, z_1)) \frac{P_2 - P_1}{f(x_2, y_2, z_2) - f(x_1, y_1, z_1)}$$

- [0024] 即可得到曲面和所有切片四边形网格的切片线段。
- [0025] 利用该方法即可得到曲面和所有切片层四边形网格的切片线段。
- [0026] 优选地,所述步骤4的具体过程为:
- [0027] 建立切片线段数据结构和四边形数据结构,切片线段数据结构保存切片线段的2个顶点信息和与切片线段对应的相交四边形信息,四边形数据结构保存四边形的4个顶点信息和与四边形对应的切片线段信息,以此建立所有切片线段和与该切片线段对应的四边形的对应拓扑关系。
- [0028] 优选地,所述步骤5的具体过程为:
- [0029] 步骤5-1:对于一条未排序的切片线段,找到与该切片线段对应的相交四边形;
- [0030] 步骤5-2:根据该四边形坐标,在四边形网格中找到与该四边形相邻的四边形;
- [0031] 步骤5-3:判断该相邻的四边形中是否存在与该相邻的四边形对应的切片线段;
- [0032] 步骤5-4:找到和当前切片线段拥有相同坐标的相邻线段;
- [0033] 步骤5-5:重复步骤5-1至步骤5-4即可完成切片线段的排序,有序的切片线段即为最终的切片轮廓。
- [0034] 与现有技术相比,本发明具有的优点为:
- [0035] 利用分层切片网格,根据三周期极小曲面的函数表达式、坐标分布范围以及切片厚度直接生成分层切片线段,避免了传统方法需要首先生成STL网格模型再切片的缺点,节省了处理时间与内存消耗。此外,充分利用切片线段与切片网格四边形的拓扑关系,快速排序切片线段生成切片轮廓,时间复杂度仅为线性 $O(n)$ 。本发明方法稳定可靠,可以高效生成三周期极小曲面的三维打印切片轮廓。

附图说明

- [0036] 图1为实施例提供的三周期极小曲面三维打印切片轮廓快速生成方法的流程图;
- [0037] 图2为实施例提供的生成曲面对应区域的切片四边形网格;
- [0038] 图3为实施例提供的快速切片结果示意图:(a)为P曲面和四边形网格插值直接生成的切片线段,(b)为切片结果的左视图,(c)为单层切片网格插值计算得到的切片线段;
- [0039] 图4为实施例提供的快速切片时间结果;
- [0040] 图5为实施例提供的切片线段排序时间结果:(a)为小数据量下的排序时间结果,(b)为大数据量下的排序时间结果。

具体实施方式

- [0041] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例对本发明进行进一步的详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施方式仅仅用以解释本发明,并不限定本发明的保护范围。
- [0042] 图1为实施例提供的三周期极小曲面三维打印切片轮廓快速生成方法的流程图。如图1所示,本实施例提供的方法包括以下步骤:
- [0043] 步骤101:输入待切片的三周期极小曲面的表达式 $f(x, y, z) = c$,切片厚度 h ,切片四边形网格分辨率 n 。
- [0044] 以三周期极小曲面P曲面为例,函数表达式为 $f(x, y, z) = \cos(0.25\pi x) + \cos(0.25\pi$

$y) + \cos(0.25\pi z) = 0$, 切片厚度 $h = 0.2\text{mm}$, 网格分辨率 $n = 16$, $x \in [0, 8]$, $y \in [0, 8]$, $z \in [0, 8]$ 。

[0045] 步骤102: 根据三周期极小曲面的坐标分布范围及切片厚度, 生成曲面对应区域的切片四边形网格。

[0046] 由于步骤101中确定三周期极小曲面的表达式 $f(x, y, z) = c$ 时, 不仅确定了表达式 $f(x, y, z) = c$ 的方程式, 还确定了每个自变量的取值范围, 这样, 三周期极小曲面的坐标分布范围就相应确定了, 再根据切片厚度, 即可获得曲面对应区域。

[0047] 如图2所示, 根据切片厚度 $h = 0.2\text{mm}$, 分别在 $z_i = i \times 0.2$, ($i = 1, \dots, 40$) 的平面上根据切片四边形网格分辨率 $n = 16$, 在 x, y 方向分别生成 $x = j \times 0.5$, ($j = 0, \dots, 16$)、 $y = j \times 0.5$, ($j = 0, \dots, 16$) 的平行线, 平行线正交生成曲面对应区域的切片四边形网格。

[0048] 步骤103: 根据三周期极小曲面表达式 $f(x, y, z) = c$, 线性插值计算曲面和每层切片四边形网格的切片线段。

[0049] 具体地, 将每层切片四边形网格顶点坐标代入三周期极小曲面函数表达式 $f(x, y, z) = c$ 中, 对于四边形边 P_1P_2 , 其中两个顶点的三维坐标为 $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$, 利用线性插值方法计算得到切片线段的端点 P_0 :

$$[0050] \quad P_0 = P_1 + (c - f(x_1, y_1, z_1)) \frac{P_2 - P_1}{f(x_2, y_2, z_2) - f(x_1, y_1, z_1)}$$

[0051] 利用上述方法即可得到曲面和所有切片层四边形网格的切片线段。

[0052] 如图3(a)即为P曲面和切片四边形网格插值直接生成的切片线段, 如图3(b)为切片结果的左视图, 如图3(c)为单层切片网格插值计算得到的切片线段。

[0053] 步骤104: 保存切片线段和与该切片线段对应的切片四边形网格中四边形的拓扑关系。

[0054] 具体地, 建立切片线段数据结构和四边形数据结构, 切片线段数据结构保存切片线段的2个顶点信息和与切片线段对应的相交四边形信息, 四边形数据结构保存四边形的4个顶点信息和与四边形对应的切片线段信息, 以此建立所有切片线段和与该切片线段对应的四边形的对应拓扑关系。

[0055] 步骤105: 根据切片线段和与该切片线段对应的切片四边形网格中四边形的拓扑关系, 对切片线段进行排序。

[0056] 步骤105的具体步骤如下:

[0057] 步骤105-1: 对于一条未排序的切片线段, 找到与该切片线段对应的相交四边形;

[0058] 步骤105-2: 根据该四边形坐标, 在四边形网格中找到与该四边形相邻的四边形;

[0059] 步骤105-3: 判断该相邻的四边形中是否存在与该相邻的四边形对应的切片线段;

[0060] 步骤105-4: 找到和当前切片线段拥有相同坐标的相邻线段;

[0061] 步骤105-5: 重复步骤105-1至步骤105-4即可完成切片线段的排序, 有序的切片线段即为最终的切片轮廓。

[0062] 步骤106: 将所有排序后生成的切片轮廓以CLI文件格式输出保存。

[0063] 本发明的典型实施实例如下:

[0064] 输入待切片的三周期极小曲面P曲面函数表达式为 $f(x, y, z) = \cos(0.25\pi x) + \cos(0.25\pi y) + \cos(0.25\pi z) = 0$, $x \in [0, 8]$, $y \in [0, 8]$, $z \in [0, 8]$, 切片厚度 $h = 0.2\text{mm}$, 设置不同

的网格分辨率 n 得到不同数目的切片线段,切片线段排序后得到不同精度的切片轮廓,生成层片CLI文件保存。

[0065] 在英特尔至强CPU@3.40GHz,8GB内存的电脑上测试快速切片方法和传统切片方法的切片时间差异。如图4所示,快速切片明显比传统先生成三周期极小曲面STL模型再切片的方法效率更高,同时也节省了保存STL文件的内存消耗。

[0066] 此外,在切片线段排序方面,如图5(a)所示,较小切片线段数据量下快速排序 $O(n)$ 方法耗时明显少于Kim提出的暴力排序 $O(n^2)$ 方法,快速排序 $O(n)$ 方法与Lin等人提出的优化排序 $O(n\log n)$ 方法差异不大;如图5(b)所示,较大切片线段数据量下,快速排序 $O(n)$ 方法与优化排序 $O(n\log n)$ 方法的排序耗时在算法效率拐点处基本一致,此后随着切片线段数目的增大,快速排序方法相比 $O(n\log n)$ 方法会节省越来越多的排序时间。三周期极小曲面结构复杂,一般产生的切片线段数据量较大,本发明方法可以快速对曲面进行切片,进而快速对散乱切片线段排序生成切片轮廓。

[0067] 以上所述的具体实施方式对本发明的技术方案和有益效果进行了详细说明,应理解的是以上所述仅为本发明的最优选实施例,并不用于限制本发明,凡在本发明的原则范围内所做的任何修改、补充和等同替换等,均应包含在本发明的保护范围之内。

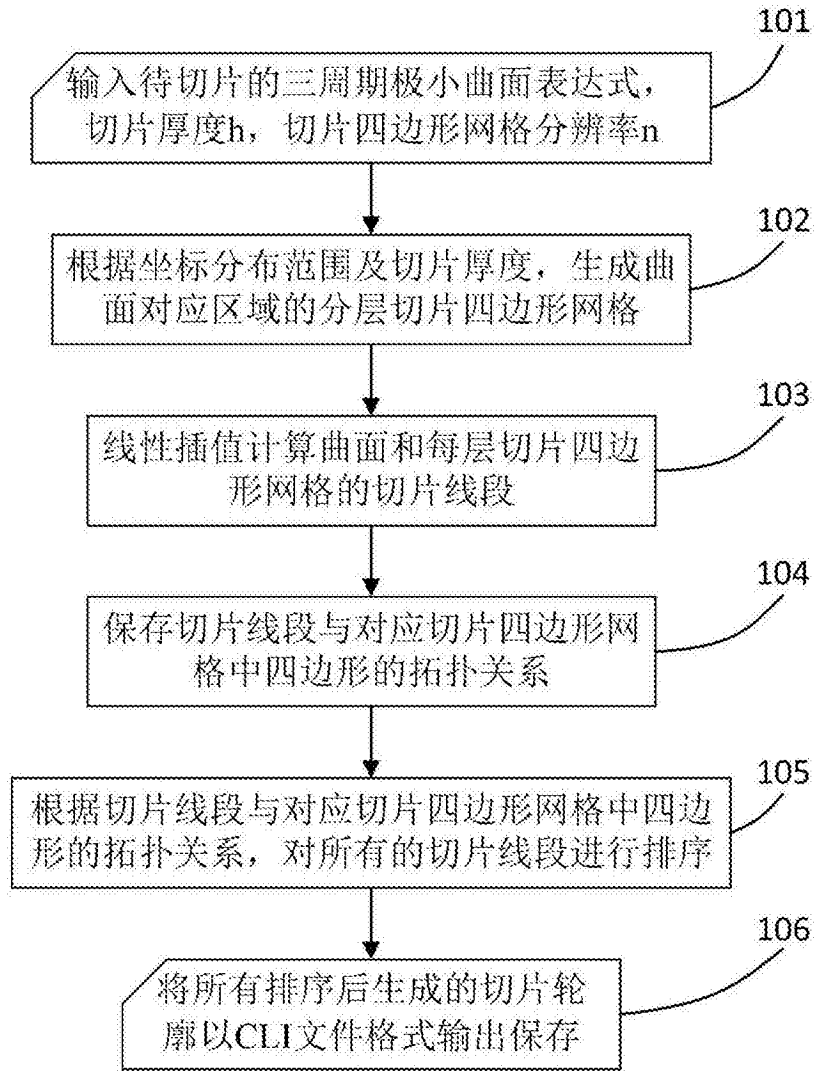


图1

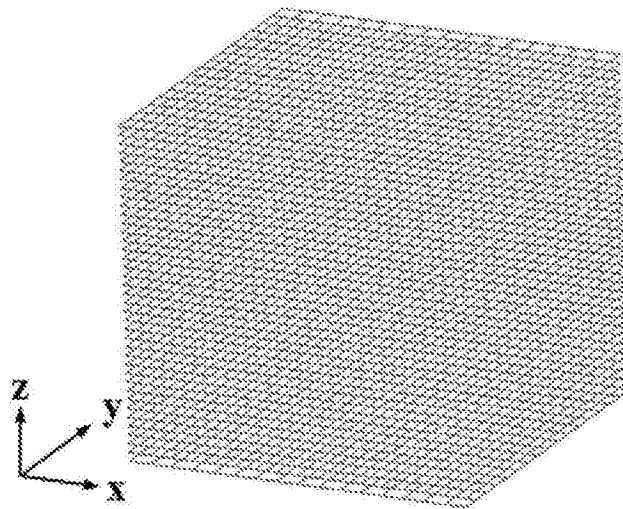


图2

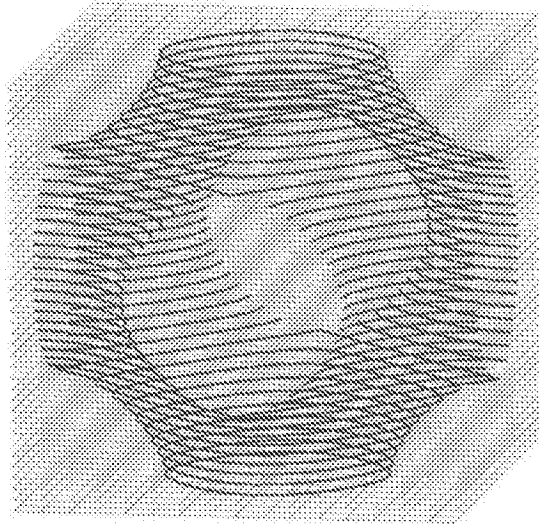


图3 (a)

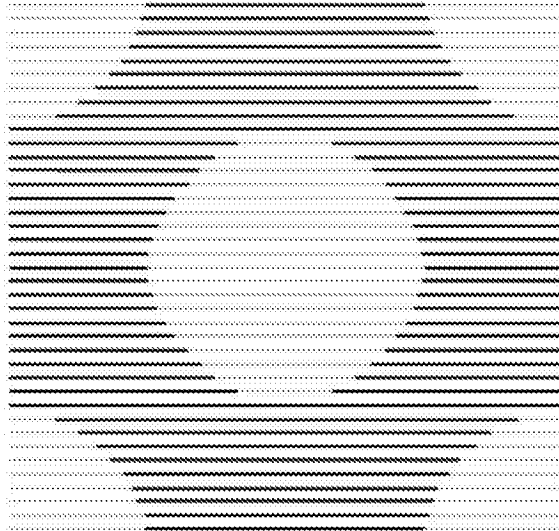


图3 (b)

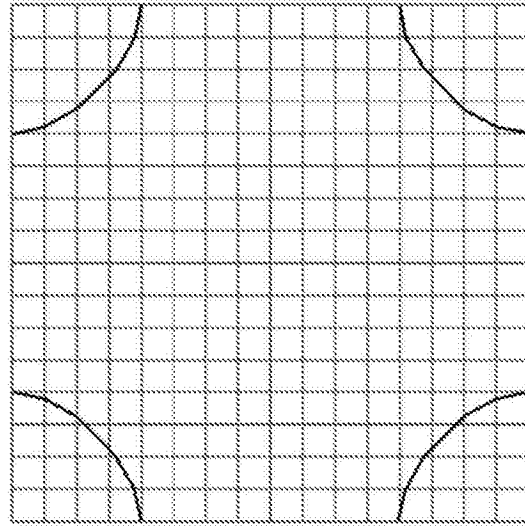


图3(c)

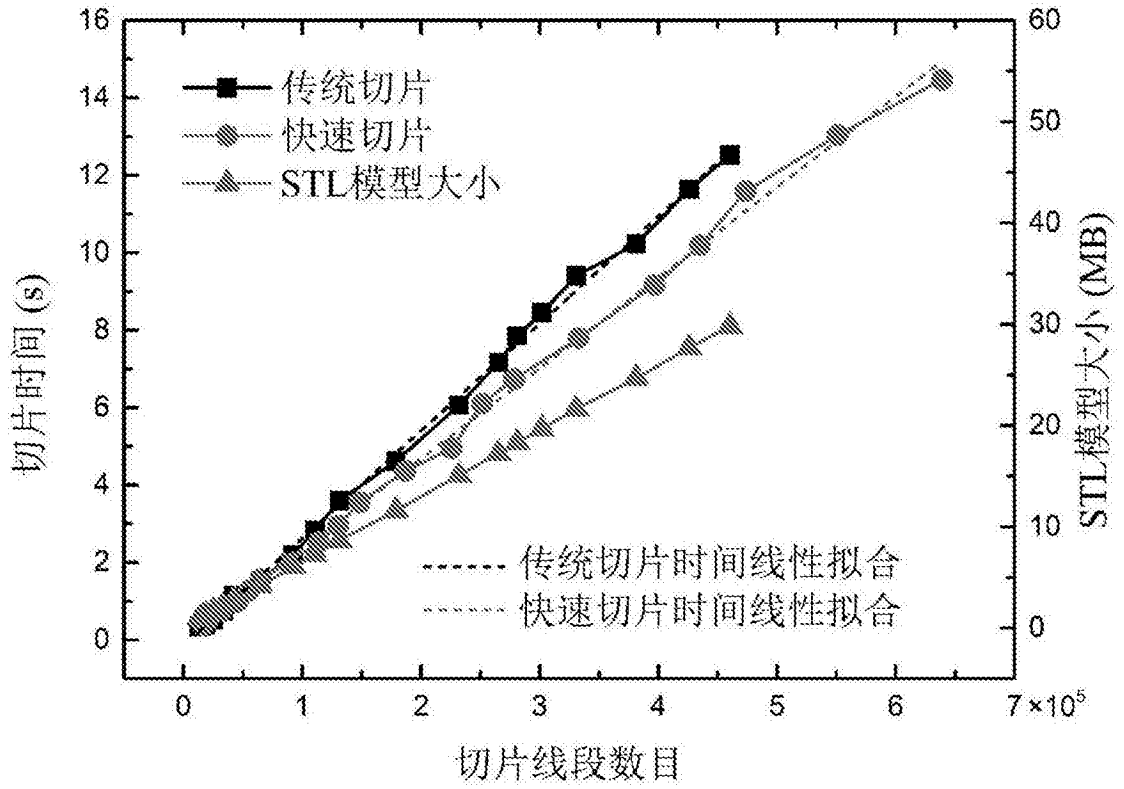


图4

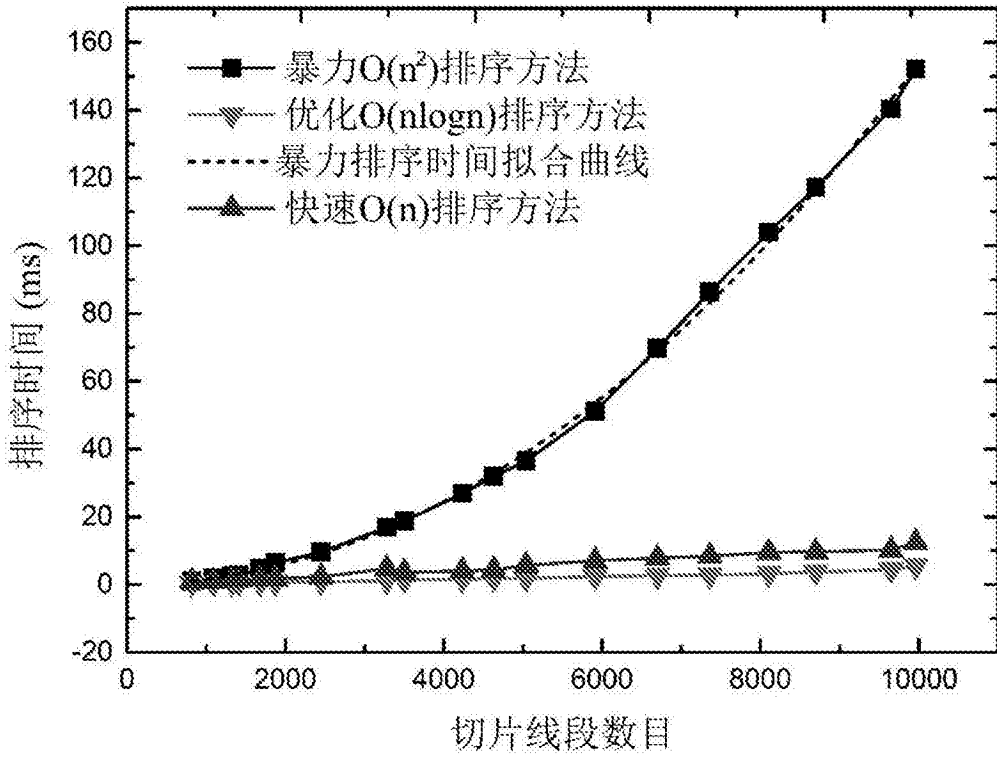


图5 (a)

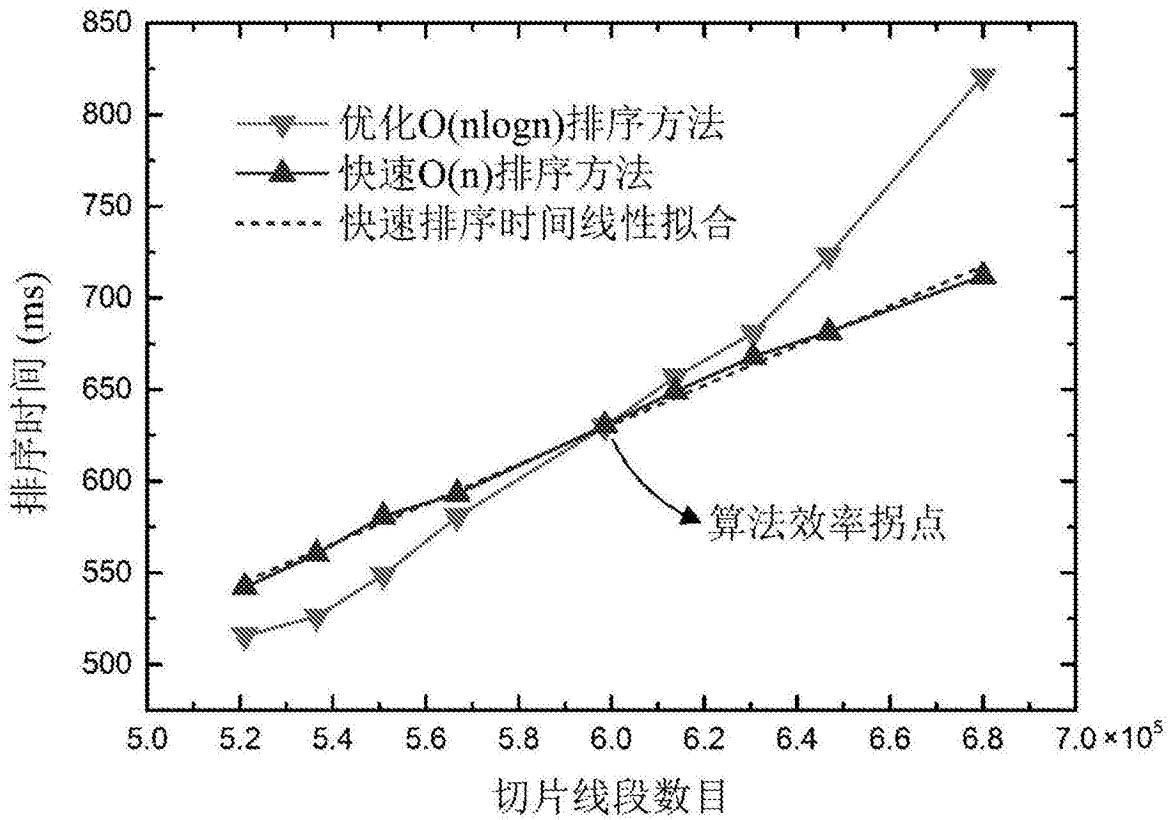


图5 (b)