



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115984442 B

(45) 授权公告日 2023.06.23

(21) 申请号 202310265275.7

(56) 对比文件

(22) 申请日 2023.03.20

CN 114840926 A, 2022.08.02

US 2013307848 A1, 2013.11.21

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115984442 A

审查员 姜晓盼

(43) 申请公布日 2023.04.18

(73) 专利权人 浙江闪铸三维科技有限公司

地址 321016 浙江省金华市婺城区仙源路

518号标准厂房B-F3

(72) 发明人 区宇辉 何雪军 邢世海 裴文剑

(74) 专利代理机构 杭州六方于义专利代理事务

所(普通合伙) 33392

专利代理师 方洲易

(51) Int. Cl.

G06T 15/04 (2011.01)

G06T 17/20 (2006.01)

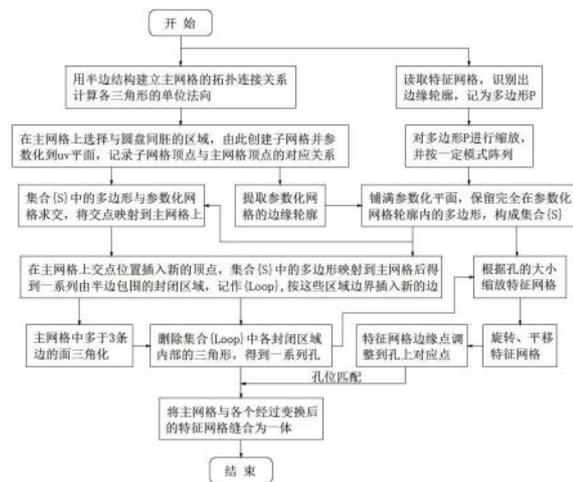
权利要求书3页 说明书7页 附图11页

(54) 发明名称

一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,在三角网格表面生成规则的3D纹理特征,起到防滑、美观的作用。本发明以特征网格的边缘轮廓为基本图形,通过比例缩放、阵列后,与主网格选定区域的uv展开图求交,将相交结果映射回主网格,得到多个多边形区域,然后删除各区域内的三角面片,形成孔洞,再通过缩放、旋转、平移特征网格,使特征网格的边缘轮廓匹配对应的孔洞,缝合后构成一体化网格。当特征网格较小时,可以实现3D纹理的效果。相较于传统方法依赖位图、生成网格致密、只支持2.5维的不足,本发明的网格密度取决于特征网格,数据量大为减少,且支持准3维特征。



1. 一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于,包括如下步骤:

(a) 采用半边结构建立主模型即主网格M的拓扑连接关系,计算所有三角形f的单位法向;

(b) 在主网格M表面选择的区域,根据区域中的顶点与三角形f创建子网格N,并构建映射关系R,将子网格N中的顶点一一映射到主网格M中的相应顶点上并记录,识别子网格N的边界并通过参数化方法将子网格N展开到uv平面,形成参数化网格;

(c) 将特征网格的底面边缘轮廓记为多边形 P_i ,然后按设定的模式与间隔阵列多边形 P_i ,使之完全覆盖子网格N的参数化网格区域,保留完全在参数化网格区域内的多边形,构成集合{S};

(d) 集合{S}中的多边形 P_i 与参数化网格求交,将交点映射到主网格M上,在主网格上交点位置插入新的顶点,集合{S}中的多边形映射到主网格后得到一系列由半边包围的封闭区域,记作{Loop},按这些区域边界插入新的边;

(e) 主网格M中多于3条边的面三角化,删除{Loop}中各封闭区域内部的三角形f,得到一系列孔;

(f) 根据孔的大小缩放特征网格,旋转、平移特征网格,特征网格边缘点调整到孔上对应点,对齐孔位,将主网格M与各个经过变换后的特征网格缝合为一体。

2. 根据权利要求1所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(d)中,多边形 P_i 与参数化网格求交的具体方法如下:对集合{S}中的任一多边形 P_i ,从序号0开始,找到一个完全在三角形f内部的顶点 P_0 ,从 P_0 开始,计算 P_i 与参数化网格的一系列交点,其中,记录交点坐标 p_t ,交点所在半边 h_0 ,交点到半边起点的距离与半边长度之比 t ,插入交点后,交点所在半边一分为二, h_0 的起点不变,终点指向点 p_t ,总长度缩短,剩下的部分构成新的半边 h_1 , o_1 为 h_1 的对侧半边。

3. 根据权利要求2所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(d)中,多边形 P_i 的顶点也作为交点处理,当顶点完全在三角形f内部时, $t=-1$, h_0 取三角形f指向的半边 h ;当顶点在三角形f边上时,判断顶点在网格边上。

4. 根据权利要求2所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(d)中,集合{S}中的多边形 P_i 映射到主网格M的具体方法为:根据映射关系R,将交点信息从子网格N的参数化网格映射回主网格M,即将所在边的端点映射回去,然后按交点的比例值 t 计算出映射边上的交点坐标;对于三角形f内的点,先在子网格N参数化网格上计算质心坐标,然后用质心坐标计算对应点在主网格M中的坐标;与此同时,交点所在半边 h_0 也改为指向主网格M中的对应半边。

5. 根据权利要求4所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(d)中,得到一系列由半边包围的封闭区域的具体方法为:将 t 值不为-1的交点按所在边进行归类,对任意一条边,如果有交点,记该边的两条半边分别为 h_{e0} 与 h_{e1} ,以 h_{e0} 为基准,当交点所在半边为 h_{e1} 时,相应的 t 用 $1.0-t$ 代替;将该边上的交点按 t 值从大到小排序,然后在半边 h_{e0} 上依次插入这些交点,同时更新交点信息中的 h_0 与 o_1 。

6. 根据权利要求5所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(d)中,按这些区域边界插入新的边的具体方法为:将多边形集合{S}分为两类{S1}与{S2},其中,{S2}中的多边形,与子网格N参数化网格的交点的 t 值均为-1或判断为顶点在网格边

上, {S1}是{S}中除去{S2}的部分,对集合{S1}中的任一多边形的交点,找出 $t \neq -1$ 的所有交点序号,对任意两个前后相邻的序号 i, j ,根据情况向三角网格中插入边:

当 i 与 j 在同一条边上时,交点 i 的 $o1$ 与交点 j 的 $o1$ 在同一条边上,此时,根据交点 j 的 $h0$ 与交点 i 的 $o1$ 插入新边 ji ,其中从 j 指向 i 的半边 $newH$ 指向原来的面 $f0$, $newH$ 对侧半边指向新创建的面 $f1$,然后在半边 $newH$ 上依次插入点 $i1, i2, i3, i4$,每插入一点, $newH$ 的起点不变,终点往 j 收缩;

当 i 与 j 不在同一条边上时,根据交点 i 的 $o1$ 与交点 j 的 $h0$ 插入新边 ij ,其中从 i 指向 j 的半边 $newH$ 指向原来的面 $f0$, $newH$ 对侧半边指向新创建的面 $f1$,然后在 $newH$ 所指半边依次插入点 $i3, i2, i1$,每插入一点, $newH$ 的起点不变,终点往 i 收缩。

7.根据权利要求6所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(e)中,主网格 M 中多于3条边的面三角化的具体方法为:对集合{S2}中的多边形 P_i ,找到其所在的面 $f0$,将 $f0$ 加入集合{F},然后对{F}中的任意一个面 F_i ,找到完全在其内部的多边形集合{Poly},通过回溯确定面 F_i 的法向 n ,然后旋转 F_i 与{Poly}使法向 n 与 Z 平行,设旋转矩阵为 R ,从而使 F_i 与{Poly}在同一水平面上,以 F_i 所在边为区域边界,以{Poly}所在边为约束边进行三角化,然后根据三角化结果,将区域内部点旋转回去,旋转矩阵为 R^{-1} ,并插入主网格 M 中,再将区域中的三角形 f 添加到主网格 M 中。

8.根据权利要求7所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(e)中,记录沿着与网格边相交的多边形前进的半边,构成一个封闭环;记录与集合{Poly}中各多边形对应的半边,也构成一个封闭环;将这些封闭环放在集合{Loop}中,每个封闭环上的所有半边均指向由封闭环围成的区域内的邻接三角形;对主网格中边数大于3的面进行网格剖分,使之由一系列三角形构成;对于集合{Loop}中的任一封闭环 L ,找出由 L 围成的区域内的三角形并删除,形成一系列孔洞,记作{H}。

9.根据权利要求8所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(f)中,对齐孔位的具体方法为:对集合{H}中的任一孔洞,计算其特征尺寸,同时计算特征网格的边缘构成的多边形 P 的周长,缩放特征网格,使多边形 P 的周长与孔的周长相等,对特征网格边缘多边形进行细分,使顶点数与孔上的顶点数相同并按长度比例一一对应,然后旋转、平移特征网格,使特征网格上的多边形与孔对齐。

10.根据权利要求9所述一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,其特征在于:步骤(f)中,将主网格 M 上的开孔与特征网格的边缘构成的多边形 P 的角点对齐,通过最小化点对点

距离平方和来对齐网格,最小化以下函数: $f(R, t) = \sum_{i=1}^n \|Rp_i + t - q_i\|^2$, 其中, p_i 与 q_i 分别

为特征网格边缘上的点以及主网格 M 孔边缘的匹配点, R 与 t 分别为整体旋转矩阵与整体平移矢量,对于主网格 M 上的每个孔,其值不相等;为使 $f(R, t)$ 取得最小值, R 与 t 按下式取值:

$$R = V \begin{bmatrix} 1 & \\ & \det(VU^T) \end{bmatrix} U^T, \quad t = \bar{q} - R\bar{p}, \quad \text{其中, } \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \quad \bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i, \quad \det(VU^T) \text{ 为 } VU^T$$

的行列式, U 与 V 为正交阵,来自协方差矩阵 $S = XY^{-1}$ 的奇异值分解 $S = U\Sigma V^T$,其中,矩阵 $X =$

$[x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n]$, 矩阵 $Y = [y_1 \ y_2 \ \cdots \ y_n]$, $XY^T = x_1y_1^T + x_2y_2^T + \cdots + x_ny_n^T$, 而 $x_i = p_i - \bar{p}$,

$y_i = q_i - \bar{q}$, $i=1, 2, \dots, n$; 对特征网格上的任一点 p_i , 计算 $p_i = R p_i + t$, 经此变换, 特征网格边缘上的点与主网格M相应孔上的匹配点在最小二乘的意义上距离最小, 但并没有完全重合, 将特征网格边缘点的坐标用主网格M相应孔上的匹配点的坐标代替。

一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法

技术领域

[0001] 本发明属于图形处理领域,具体涉及一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法。

背景技术

[0002] 为生成3D纹理特征,现有方法有两种,其中一种从2D纹理图像提取高度信息,再通过参数化映射到三维空间中,这种方法生成的网格细节丰富,一般需要加密网格,致使数据量庞大,或者需要花费额外的时间对网格进行简化;其次,这类方法只能生成2.5维特征,无法生成准3维特征结构。

[0003] 另外一种3D纹理较为规则,主要是对基本特征的重复。理论上,这种特征只需要较少的三角面片即可表达,但实际还是需要一幅2D图像来表示,并且无法生成较为复杂的空间结构。

[0004] 因此针对上述两种方法的不足,需要一种可以生成复杂空间结构的表面3D纹理的方法,并且处理速度快,生成的模型数据量小。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,数据量少,支持准3维特征结构,处理速度快。

[0006] 为了达到上述技术目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,包括如下步骤:

[0008] (a) 采用半边结构建立主模型即主网格M的拓扑连接关系,计算所有三角形f的单位法向;

[0009] (b) 在主网格M表面选择区域,根据区域中的顶点与三角形f创建子网格N,并构建映射关系R,将子网格N中的顶点一一映射到主网格M中的相应顶点上并记录,识别子网格N的边界并通过参数化方法将子网格N展开到uv平面,形成参数化网格;

[0010] (c) 将特征网格的底面边缘轮廓记为多边形 P_i ,然后按设定的模式与间隔阵列多边形 P_i ,使之完全覆盖子网格N的参数化网格区域,保留完全在参数化网格区域内的多边形,构成集合{S};

[0011] (d) 集合{S}中的多边形 P_i 与参数化网格求交,将交点映射到主网格M上,在主网格上交点位置插入新的顶点,集合{S}中的多边形映射到主网格后得到一系列由半边包围的封闭区域,记作{Loop},按这些区域边界插入新的边;

[0012] (e) 主网格M中多于3条边的面三角化,删除{Loop}中各封闭区域内部的三角形f,得到一系列孔;

[0013] (f) 根据孔的大小缩放特征网格,旋转、平移特征网格,特征网格边缘点调整到孔上对应点,对齐孔位,将主网格M与各个经过变换后的特征网格缝合为一体。

[0014] 以特征网格的边缘轮廓为基本图形,通过比例缩放、阵列后,与主网格选定区域的uv展开图求交,将相交结果映射回主网格,得到多个多边形区域,然后删除各区域内的三角

面片,形成孔洞,再通过缩放、旋转、平移特征网格,使特征网格的边缘轮廓匹配对应的孔洞,缝合后构成一体化网格。当特征网格较小时,可以实现3D纹理的效果。

[0015] 进一步,步骤(d)中,多边形 P_i 与参数化网格求交的具体方法如下:对集合 $\{S\}$ 中的任一多边形 P_i ,从序号0开始,找到一个完全在三角形 f 内部的顶点 P_0 ,从 P_0 开始,计算 P_i 与参数化网格的一系列交点,其中,记录交点坐标 p_t ,交点所在半边 h_0 ,交点到半边起点的距离与半边长度之比 t ,插入交点后,点所在半边一分为二, h_0 的起点不变,终点指向点 p_t ,总长度缩短,剩下的部分构成新的半边 h_1 , o_1 为 h_1 的对侧半边。

[0016] 主网格 M 或其子网格 N 在空间上是弯曲的,需要通过参数化展平到 uv 平面上,得到参数化网格之后,才能与特征网格边缘轮廓构成的平面图案求交。

[0017] 多边形 P_i 与参数化网格之间相交,根据交点在三角形内部还是边上,需要记录不同的交点信息,从而便于映射回主网格 M 的相应位置。

[0018] 进一步,步骤(d)中,多边形 P_i 的顶点也作为交点处理,当顶点完全在三角形 f 内部时, $t=-1$, h_0 取三角形 f 指向的半边 h ;当顶点在三角形 f 边上时,判断顶点在网格边上。

[0019] 多边形 P_i 的顶点同样作为交点处理,用于记录多边形 P_i 的形状。

[0020] 进一步,步骤(d)中,集合 $\{S\}$ 中的多边形映射到主网格的具体方法为:根据映射关系 R ,将交点信息从子网格 N 的参数化网格映射回主网格 M ,即将所在边的端点映射回去,然后按交点的比例值 t 计算出映射边上的交点坐标;对于三角形 f 内的点,先在子网格 N 参数化网格上计算质心坐标,然后用质心坐标计算对应点在主网格 M 中的坐标;与此同时,交点所在半边 h_0 也改为指向主网格 M 中的对应半边。

[0021] 对于参数化网格上的交点,根据交点的比例值 t 映射到主网格 M ;对于三角形 f 内的点,根据其质心坐标映射到主网格 M 。

[0022] 进一步,步骤(d)中,得到一系列由半边包围的封闭区域的具体方法为:将 t 值不为-1的交点按所在边进行归类,对任意一条边,如果有交点,记该边的两条半边分别为 he_0 与 he_1 ,以 he_0 为基准,当交点所在半边为 he_1 时,相应的 t 用 $1.0-t$ 代替;将该边上的交点按 t 值从大到小排序,然后在半边 he_0 上依次插入这些交点,同时更新交点信息中的 h_0 与 o_1 。

[0023] 插入交点后将可以形成封闭区域的半边进行记录,封闭区域可对应特征网格的底面边缘轮廓。

[0024] 进一步,步骤(d)中,按这些区域边界插入新的边的具体方法为:将多边形集合 $\{S\}$ 分为两类 $\{S_1\}$ 与 $\{S_2\}$,其中, $\{S_2\}$ 中的多边形,与子网格 N 参数化网格的交点的 t 值均为-1或判断为顶点在网格边上, $\{S_1\}$ 是 $\{S\}$ 中除去 $\{S_2\}$ 的部分,对集合 $\{S_1\}$ 中的任一多边形的交点,找出 $t \neq -1$ 的所有交点序号,对任意两个前后相邻的序号 i 、 j ,根据情况向三角网格中插入边:

[0025] 当 i 与 j 在同一条边上时,交点 i 的 o_1 与交点 j 的 o_1 在同一条边上,此时,根据交点 j 的 h_0 与交点 i 的 o_1 插入新边 ji ,其中从 j 指向 i 的半边 $newH$ 指向原来的面 f_0 , $newH$ 对侧半边指向新创建的面 f_1 ,然后在半边 $newH$ 上依次插入点 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 ,每插入一点, $newH$ 的起点不变,终点往 j 收缩;

[0026] 当 i 与 j 不在同一条边上时,根据交点 i 的 o_1 与交点 j 的 h_0 插入新边 ij ,其中从 i 指向 j 的半边 $newH$ 指向原来的面 f_0 , $newH$ 对侧半边指向新创建的面 f_1 ,然后在半边 $newH$ 上依次插入点 i_3 、 i_2 、 i_1 ,每插入一点, $newH$ 的起点不变,终点往 i 收缩。

[0027] 针对i、j交点是否在同一边上,按情况在三角网格中插入边,从而在主网格上得到与特征网格边缘轮廓对应的多边形。

[0028] 进一步,步骤(e)中,主网格M中多于3条边的面三角化的具体方法为:对集合{S2}中的多边形Pi,找到其所在的面f0,将f0加入集合{F},然后对{F}中的任意一个面Fi,找到完全在其内部的多边形集合{Poly},通过回溯确定面Fi的法向n,然后旋转Fi与{Poly}使法向n与+Z平行,设旋转矩阵为R,从而使Fi与{Poly}在同一水平面上,以Fi所在边为区域边界,以{Poly}所在边为约束边进行三角化,然后根据三角化结果,将区域内部点旋转回去,旋转矩阵为 R^{-1} ,并插入主网格M中,再将区域中的三角形f添加到主网格M中。

[0029] 将待三角化的空间平面区域旋转至水平位置,完成平面三角化后,再通过逆变换旋转回去,从而实现主网格M上空间区域的三角化。

[0030] 进一步,步骤(e)中,记录沿着与网格边相交的多边形前进的半边,构成一个封闭环;记录与集合{Poly}中各多边形对应的半边,也构成一个封闭环;将这些封闭环放在集合{Loop}中,每个封闭环上的所有半边均指向由封闭环围成的区域内的邻接三角形;对主网格中边数大于3的面进行网格剖分,使之由一系列三角形构成;对于集合{Loop}中的任一封闭环L,找出由L围成的区域内的三角形并删除,形成一系列孔洞,记作{H}。

[0031] 在封闭环L内的三角形需要进行删除,使其产生孔洞,孔洞与特征网格的底面边缘轮廓相对应。

[0032] 进一步,步骤(f)中,对齐孔位的具体方法为:对集合{H}中的任一孔洞,计算其特征尺寸,如孔的周长,同时计算特征网格的边缘构成的多边形P的周长,缩放特征网格,使多边形P的周长与孔的周长相等,对特征网格边缘多边形进行细分,使顶点数与孔上的顶点数相同并按长度比例一一对应,然后旋转、平移特征网格,使特征网格上的多边形与孔对齐。

[0033] 进一步,步骤(f)中,将主网格M上的开孔与特征网格的边缘构成的多边形P的角点对齐,通过最小化点对距离平方和来对齐网格,最小化以下函数:

$$f(R, t) = \sum_{i=1}^n \|Rp_i + t - q_i\|^2, \text{ 其中, } p_i \text{ 与 } q_i \text{ 分别为特征网格边缘上的点以及主网格M孔边缘}$$

的匹配点,R与t分别为整体旋转矩阵与整体平移矢量,对于主网格M上的每个孔,其值不相

等;为使 $f(R, t)$ 取得最小值,R与t按下式取值: $R = V \begin{bmatrix} 1 & \\ & \det(VU^T) \end{bmatrix} U^T, t = \bar{q} - R\bar{p}$,

其中, $\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i, \det(VU^T)$ 为 VU^T 的行列式,U与V为正交阵,来自协方差矩阵

$S = XY^T$ 的奇异值分解 $S = U \Sigma V^T$,其中,矩阵 $X = [x_1 x_2 \cdots x_n]$,矩阵 $Y = [y_1 y_2 \cdots y_n]$,

$XY^T = x_1 y_1^T + x_2 y_2^T + \cdots + x_n y_n^T$,而 $x_i = p_i - \bar{p}, y_i = q_i - \bar{q}, (i = 1, 2, \cdots, n)$;对特征网格上的

任一点 p_i ,计算 $p_i = Rp_i + t$,经此变换,特征网格边缘上的点与主网格M相应孔上的匹配点在最小二乘的意义上距离最小,但并没有完全重合,将特征网格边缘点的坐标用主网格M相应孔上的匹配点的坐标代替。

[0034] 主网格M上的开孔一般不在同一个平面上,而特征网格边缘构成的多边形则在同

一个平面上,因此需要对特征网格边缘上的点适当调整,才能使其与主网格M上的孔匹配。

[0035] 由于采用上述技术方案,本发明具有以下有益效果:

[0036] 1、从特征网格的边缘轮廓构成的多边形作为基本图案进行阵列,只需要准备相应的特征网格模型即可构建3D纹理库,特征网格文件远小于位图,最终生成的带3D纹理效果的模型文件也相对较小。

[0037] 2、特征网格边缘点与主网格上孔的相应点的匹配,只需计算一次即可将特征网格匹配到对位的孔上,计算速度快。

[0038] 3、传统的基于位图的方法只是一个高度场,本发明可使用准3维的特征网格,特征网格可以具有复杂的空间结构。

附图说明

[0039] 下面根据附图对本发明作进一步说明。

[0040] 图1为一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法的流程图。

[0041] 图2为多边形 P_i 的边与参数化网格求交并插入交点前、后的交点信息变化示意图。

[0042] 图3为多边形阵列与参数化网格求交的示意图。

[0043] 图4为多边形 P_i 的顶点在网格边上时的示意图。

[0044] 图5为在多边形 P_i 的一条边上插入交点的示意图。

[0045] 图6为多边形 P_i 与参数化网格交点中相邻两个 t 值不为-1的交点 i 、 j 在同一条边上的示意图。

[0046] 图7为多边形 P_i 与参数化网格交点中相邻两个 t 值不为-1的交点 i 、 j 在不同边上的示意图。

[0047] 图8为三角形 f_0 被多边形阵列拆分,三角形 f_0 除去与各多边形相交部分得到的区域,以及该区域三角化后的示意图。

[0048] 图9为金字塔形、顶部带球的特征网格缩放后没有完全对齐开孔的示意图。

[0049] 图10为底部开口的金字塔形特征网格与曲面上开孔对齐的示意图。

[0050] 图11为特征网格缩放、边缘细分并实现点匹配后的顶点位置变化示意图。

[0051] 图12为使用本发明方法在手柄曲面与柱面上生成金字塔与截顶金字塔特征网格的阵列。

[0052] 图13为相邻两行交边形六边形交错排列构成的蜂窝阵列。

[0053] 图14为两组沿径向不断放大的四角星形的圆周阵列。

[0054] 图15由两个不同形状的多边形组成的基本单元的矩形阵列。

具体实施方式

[0055] 如图1所示的一种通过特征阵列生成表面3D纹理的方法,包括如下步骤:

[0056] (a) 采用半边结构建立主模型即主网格M的拓扑连接关系,计算所有三角形 f 的单位法向;

[0057] (b) 在主网格M表面选择区域,根据区域中的顶点与三角形 f 创建子网格N,并构建映射关系R,将子网格N中的顶点一一映射到主网格M中的相应顶点上并记录,识别子网格N的边界并通过参数化方法将子网格N展开到 uv 平面;

[0058] (c) 将特征网格的底面边缘轮廓记为多边形 P_i , 然后按设定的模式与间隔阵列多边形 P_i , 使之完全覆盖子网格 N 的参数化网格区域, 保留完全在参数化网格区域内的多边形, 构成集合 $\{S\}$;

[0059] (d) 如图2所示, 对集合 $\{S\}$ 中的任一多边形 P_i , 从序号0开始, 找到一个完全在三角形 f 内部的顶点 P_0 , 从 P_0 开始, 计算 P_i 与参数化网格的一系列交点, 其中, 记录交点坐标 p_t , 交点所在半边 h_0 , 交点到半边起点的距离与半边长度之比 t 。若多边形顶点在三角形内部, 如 P_0 , t 值取-1。若多边形顶点在三角形边上, 则判断顶点在网格边上。这两类点称为“特征点”。插入交点后, 点所在半边一分为二, h_0 的起点不变, 终点指向点 p_t , 总长度缩短, 剩下的部分构成新的半边 h_1 , o_1 为 h_1 的对侧半边。在图2中, 第1个交点 p_t 的 t 值为0.5, 第2个交点 p_t 的 t 值为0.25, 与第2个交点 p_t 相关的信息 h_0 、 h_1 、 o_1 均用粗斜体表示, 以区分与第1个交点 p_t 相关的同名信息。

[0060] 如图3所示, 参数化网格只有两个三角形(用粗实线表示), 集合 $\{S\}$ 由一系列正方形构成(用细实线表示), 每个正方形与参数化网格交于4点, 除了与对角线相交的正方形外, 其余正方形完全在其中一个三角形内部。

[0061] 多边形 P_i 的顶点也作为交点处理, 当顶点在某个三角形 f 内时, 令 $t = -1$, h_0 取 f 指向的半边 h , 通过 h 可以找到 f ; 如图4所示, 当顶点在某个三角形的边上时, 多边形 P_i 的下一条线段可能继续往前进入下一个邻接三角形, 也可能折返, 如图4所示, 面 f_0 上的线段 i_1-i_2 与线段 i_4-i_5 的终点均在网格边上, 因此会将交点判断为当前线段的终点, 下一段线 i_2-i_3 进入邻接面 f_1 中, 而线段 i_5-i_6 则折返, 又回到面 f_0 中, 这两种情况下, 交点 i_2 与 i_5 只计算1次。

[0062] 根据映射关系 R , 将交点信息从子网格 N 参数化网格映射回主网格 M , 即将所在边的端点映射回去, 然后按交点的比例值 t 计算出映射边上的交点坐标; 对于三角形 f 内的点, 先在子网格 N 参数化网格上计算质心坐标, 然后用质心坐标计算对应点在主网格 M 中的坐标; 与此同时, 交点所在半边 h_0 也改为指向主网格 M 中的对应半边。

[0063] 得到一系列由半边包围的封闭区域的具体方法为: 将 t 值不为-1的交点按所在边进行归类(某条半边以及它的对侧半边属于同一条边), 从而可以知道, 一条边上都有哪些交点; 对任意一条边, 如果有交点, 记该边的两条半边分别为 he_0 与 he_1 , 以 he_0 为基准, 当交点所在半边为 he_1 时, 相应的 t 用 $1.0-t$ 代替; 将该边上的交点按 t 值从大到小排序, 然后在半边 he_0 上依次插入这些交点(在此过程中, he_0 的起点不变, 终点指向每次新插入的点, 长度不断缩小), 同时更新交点信息中的 h_0 与 o_1 。

[0064] 以图5为例, 交点A与C的 h_0 为 he_0 , 而交点B与D的 h_0 为 he_1 , 交点B与D的 t 值需用 $1.0-t$ 代替, 随后, 交点按 t 从大到小排列, 得到序列D、C、B、A, 依次在半边 he_0 上插入点D、C、B、A, 最终, 交点A的 h_0 为 he_1 , 交点B的 h_0 为 o_3 , 交点C的 h_0 为 o_3 的对侧半边, 交点D的 h_0 为 o_1 , 然后计算4个点的 o_1 , 取各自的 h_0 的下一条半边的对侧半边, 如交点D的 o_1 为图5中 o_2 的对侧半边。按这些区域边界插入新的边的具体方法为: 将多边形集合 $\{S\}$ 分为两类 $\{S_1\}$ 与 $\{S_2\}$, 其中, $\{S_2\}$ 中的多边形, 与子网格 N 参数化网格的交点的 t 值均为-1或判断为当前线段的终点, $\{S_1\}$ 是 $\{S\}$ 中除去 $\{S_2\}$ 的部分, 对集合 $\{S_1\}$ 中的任一多边形的交点, 找出 $t \neq -1$ 的所有交点序号, 对任意两个前后相邻的序号 i 、 j , 根据情况向三角网格中插入边:

[0065] 如图6所示, 当 i 与 j 在同一条边上时, 交点 i 的 o_1 与交点 j 的 o_1 在同一条边上, 此时,

根据交点 j 的 $h0$ 与交点 i 的 $o1$ 插入新边 ji ,其中从 j 指向 i 的半边 $newH$ 指向原来的面 $f0$, $newH$ 对侧半边指向新创建的面 $f1$,然后在半边 $newH$ 上依次插入点 $i1$ 、 $i2$ 、 $i3$ 、 $i4$,每插入一点, $newH$ 的起点不变,终点往 j 收缩。图6中,与 j 相关的 $h0$ 、 $o1$ 采用粗斜体表示,以区分与 i 相关的同名信息。

[0066] 如图7所示,当 i 与 j 不在同一条边上时,根据交点 i 的 $o1$ 与交点 j 的 $h0$ 插入新边 ij ,其中从 i 指向 j 的半边 $newH$ 指向原来的面 $f0$, $newH$ 对侧半边指向新创建的面 $f1$,然后在半边 $newH$ 上依次插入点 $i3$ 、 $i2$ 、 $i1$,每插入一点, $newH$ 的起点不变,终点往 i 收缩。图7中,与 j 相关的 $h0$ 、 $o1$ 采用粗斜体表示,以区分与 i 相关的同名信息。

[0067] (e)对集合 $\{S2\}$ 中的多边形 P_i ,找到其所在的面 $f0$,将 $f0$ 加入集合 $\{F\}$,然后对 $\{F\}$ 中的任意一个面 F_i ,找到完全在其内部的多边形集合 $\{Poly\}$,通过回溯确定面 F_i 的法向 n ,然后旋转 F_i 与 $\{Poly\}$ 使法向 n 与 $+Z$ 平行,设旋转矩阵为 R ,从而使 F_i 与 $\{Poly\}$ 在同一水平面上,以 F_i 所在边为区域边界,以 $\{Poly\}$ 所在边为约束边进行三角化,然后根据三角化结果,将区域内部点旋转回去,旋转矩阵为 R^{-1} ,并插入主网格 M 中,再将区域中的三角形 f 添加到主网格 M 中。以图8为例,原三角形区域 $f0$ 被拆分为新的 $f0$ (对应前述 F_i)以及 $f1\sim f9$ 共10个面,新的 $f0$ 如图8所示中间子图所示,其中包含一个完全在 $f0$ 内部的多边形 $Poly_i$,此 $Poly_i$ 为构成前述 $\{Poly\}$ 集合的唯一元素。图8右侧子图给出了以新的 $f0$ 为区域边界,以 $Poly_i$ 为约束边的三角化结果。

[0068] 记录沿着与网格边相交的多边形前进的半边,构成一个封闭环;记录与集合 $\{Poly\}$ 中各多边形对应的半边,也构成一个封闭环(如图8中的 $v0-v1-v2-v3$);将这些封闭环放在集合 $\{Loop\}$ 中,每个封闭环上的所有半边均指向由封闭环围成的区域内的邻接三角形;对主网格中边数大于3的面进行网格剖分,使之由一系列三角形构成;对于集合 $\{Loop\}$ 中的任一封闭环 L ,找出由 L 围成的区域内的三角形并删除,形成一系列孔洞,记作 $\{H\}$ 。

[0069] (f)对集合 $\{H\}$ 中的任一孔洞,计算其特征尺寸,如孔的周长,同时计算特征网格的边缘构成的多边形 P 的周长,缩放特征网格,使多边形 P 的周长与孔的周长相等,对特征网格边缘多边形进行细分,使顶点数与孔上的顶点数相同并按长度比例一一对应,然后旋转、平移特征网格,使特征网格上的多边形与孔对齐。

[0070] 图9下图为缩放后但没有完全对齐的情况,对齐方法如下:

[0071] 首先确定特征点的对应关系,如图10所示,粗实线表示的大、小正方形分别对应主网格 M 上的开孔与特征网格的边缘构成的多边形 P 。大正方形的4个角点已在之前的步骤中标记为“特征点”,假设这些点与小正方形中的4个临近角点一一对齐;

[0072] 其次,大正方形除了4个角点外,还有其它点,为使小正方形能够完美匹配,需要在小正方形上插入相应的点,从而使两者点数相同,位置一一对应,如图10右侧子图中的箭头所示。

[0073] 此外,主网格 M 上的开孔一般不在同一个平面上,而特征网格边缘构成的多边形则在同一个平面上,因此需要对特征网格边缘上的点适当调整,才能使其与主网格 M 上的孔匹配。

[0074] 图11为特征网格边缘细分并实现点匹配后的情况,其中,左侧特征网格经过缩放、平移、旋转、顶部边缘轮廓细分、与孔匹配后得到右侧网格。顶部边缘轮廓原本是同一平面上的正方形,孔匹配后,变成了空间封闭折线。

[0075] 将主网格M上的开孔与特征网格的边缘构成的多边形P的角点对齐,通过最小化点对距离平方和来对齐网格,最小化以下函数: $f(R, t) = \sum_{i=1}^n \|Rp_i + t - q_i\|^2$, 其中, p_i 与 q_i 分

别为特征网格边缘上的点以及主网格M孔边缘的匹配点, R 与 t 分别为整体旋转矩阵与整体平移矢量, 对于主网格M上的每个孔, 其值不相等; 为使 $f(R, t)$ 取得最小值, R 与 t 按下式取值:

$$R = V \begin{bmatrix} 1 & \\ & \det(VU^T) \end{bmatrix} U^T, \quad t = \bar{q} - R\bar{p}, \quad \text{其中, } \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \quad \bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i, \quad \det(VU^T)$$

为 VU^T 的行列式, U 与 V 为正交阵, 来自协方差矩阵 $S = XY^T$ 的奇异值分解 $S = U \Sigma V^T$, 其中, 矩

阵 $X = [x_1 x_2 \cdots x_n]$, 矩阵 $Y = [y_1 y_2 \cdots y_n]$, $XY^T = x_1 y_1^T + x_2 y_2^T + \cdots + x_n y_n^T$, 而 $x_i = p_i - \bar{p}$,

$y_i = q_i - \bar{q}$, ($i = 1, 2, \cdots, n$); 对特征网格上的任一点 p_i , 计算 $p_i = Rp_i + t$, 经此变换, 特征网格边

缘上的点与主网格M相应孔上的匹配点在最小二乘的意义上距离最小, 但并没有完全重合, 将特征网格边缘点的坐标用主网格M相应孔上的匹配点的坐标代替。

[0076] 最后, 将三维模型M与各个孔附近的特征网格缝合在一起, 以构成一个统一的整体。

[0077] 使用本发明方法在立方体主模型表面生成金字塔与顶端带球金字塔的特征网格阵列。

[0078] 除了在平面上生成特征阵列外, 还可以在任意曲面以及柱面上生成特征网格阵列。如图12为使用本发明方法在手柄上生成金字塔与截顶金字塔特征网格阵列。其中, 顶部特征大小不一是参数化扭曲造成的。

[0079] 其次, 特征网格可以含有非常复杂的空间结构, 特征网格阵列, 其特征网格含有4根在顶部交汇的支柱, 并在顶部中间开有圆孔, 这是一种区别于2.5维的准三维结构。

[0080] 再次, 特征网格的边缘轮廓不限于四边形, 在表面局部区域生成的五角星阵列, 其特征网格的边缘轮廓是一个凹十边形。

[0081] 此外, 图12的实施例采用的是矩形阵列, 但阵列的模式不受限制, 也可以是其它阵列或数学变换, 还可以是多个不同特征网格阵列的组合, 例如图13-图15所示。

[0082] 以上仅为本发明的具体实施例, 但本发明的技术特征并不局限于此。任何以本发明为基础, 为解决基本相同的技术问题, 实现基本相同的技术效果, 所作出地简单变化、等同替换或者修饰等, 皆涵盖于本发明的保护范围之内。

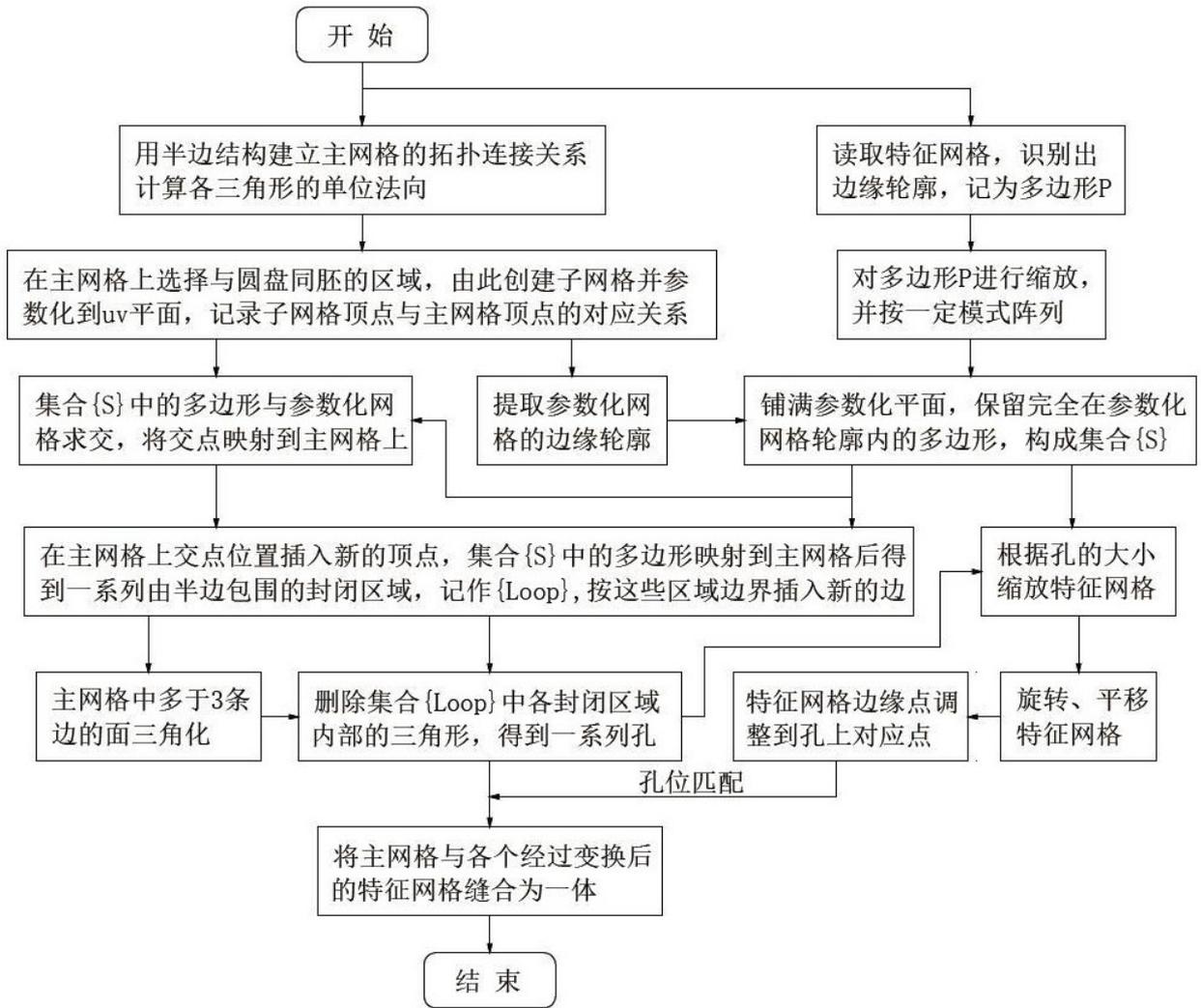


图 1

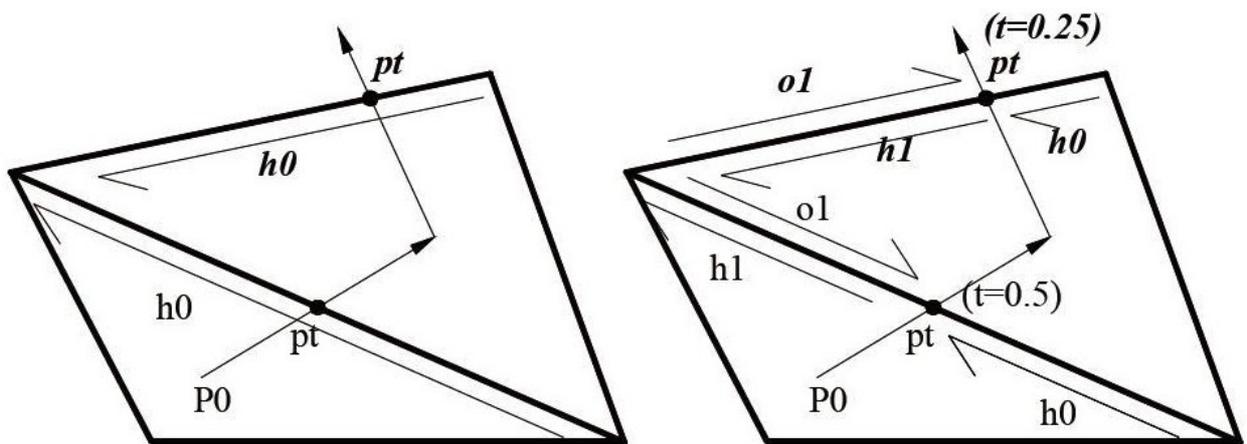


图 2

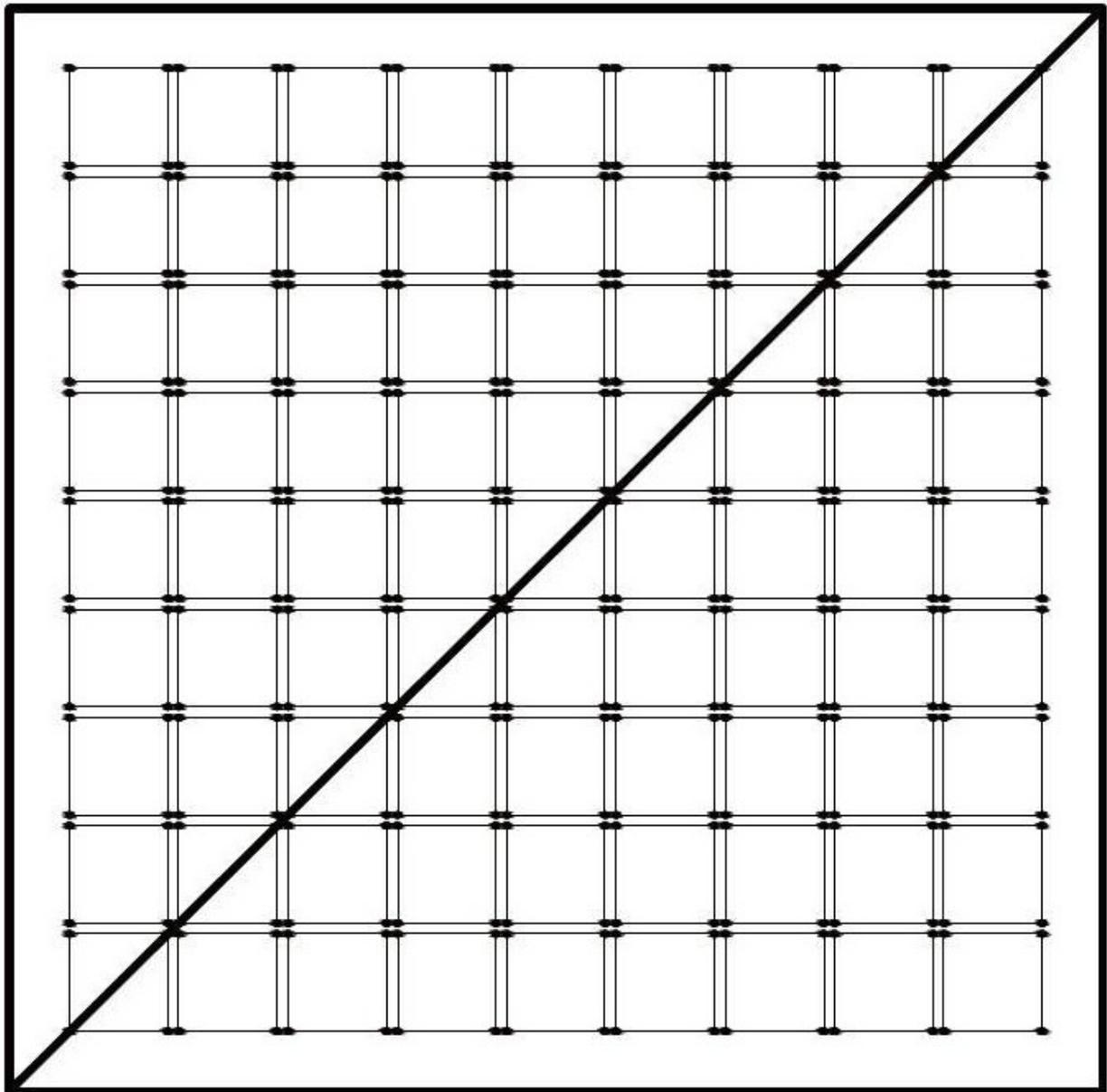


图 3

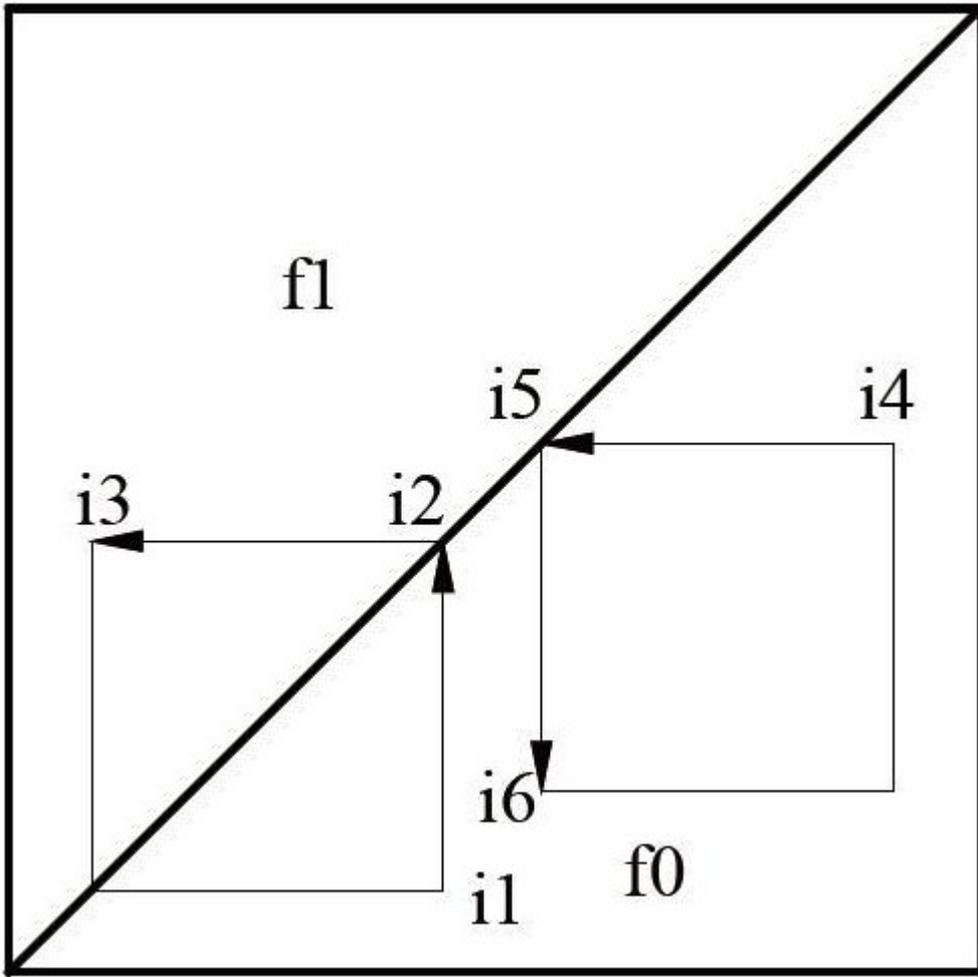


图 4

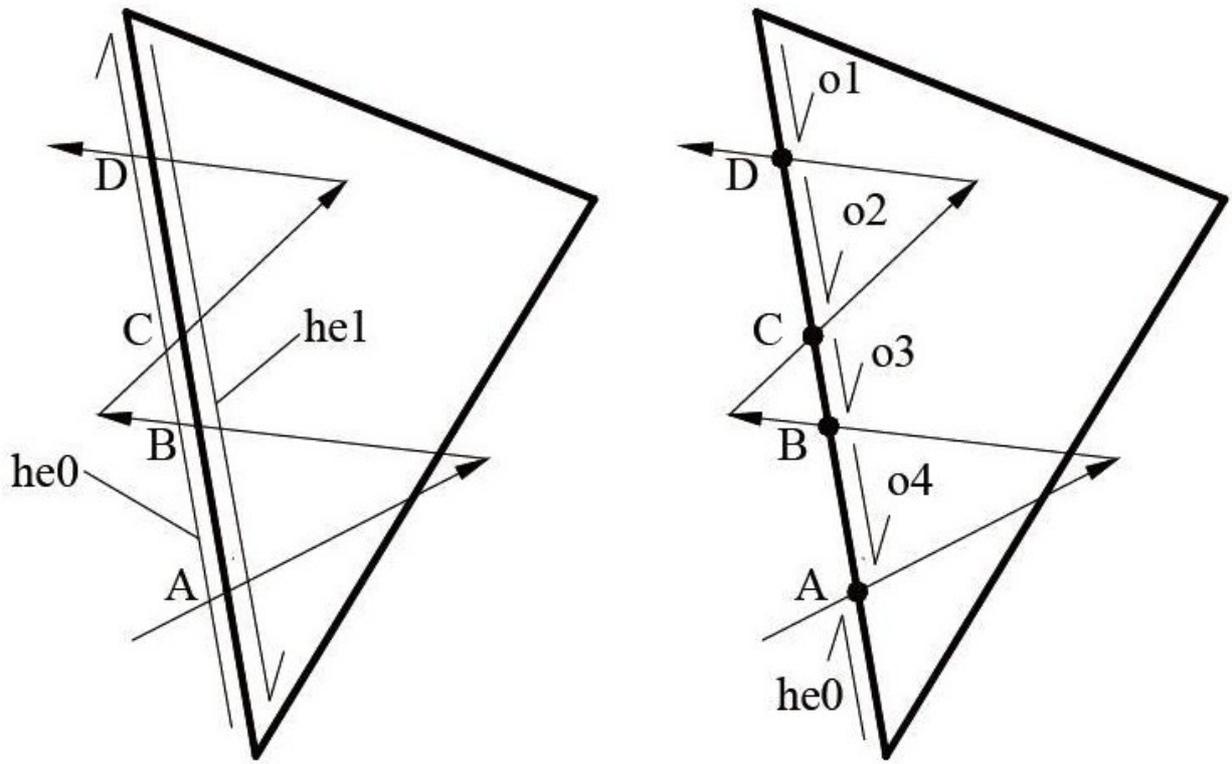


图 5

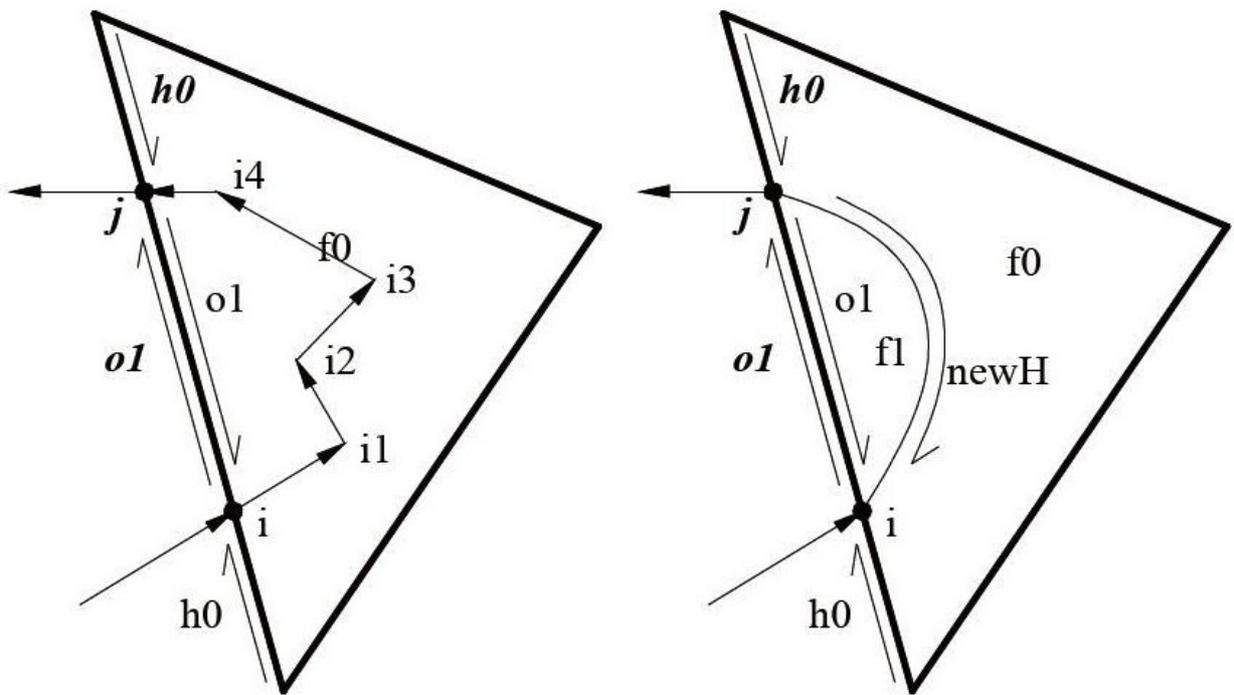


图 6

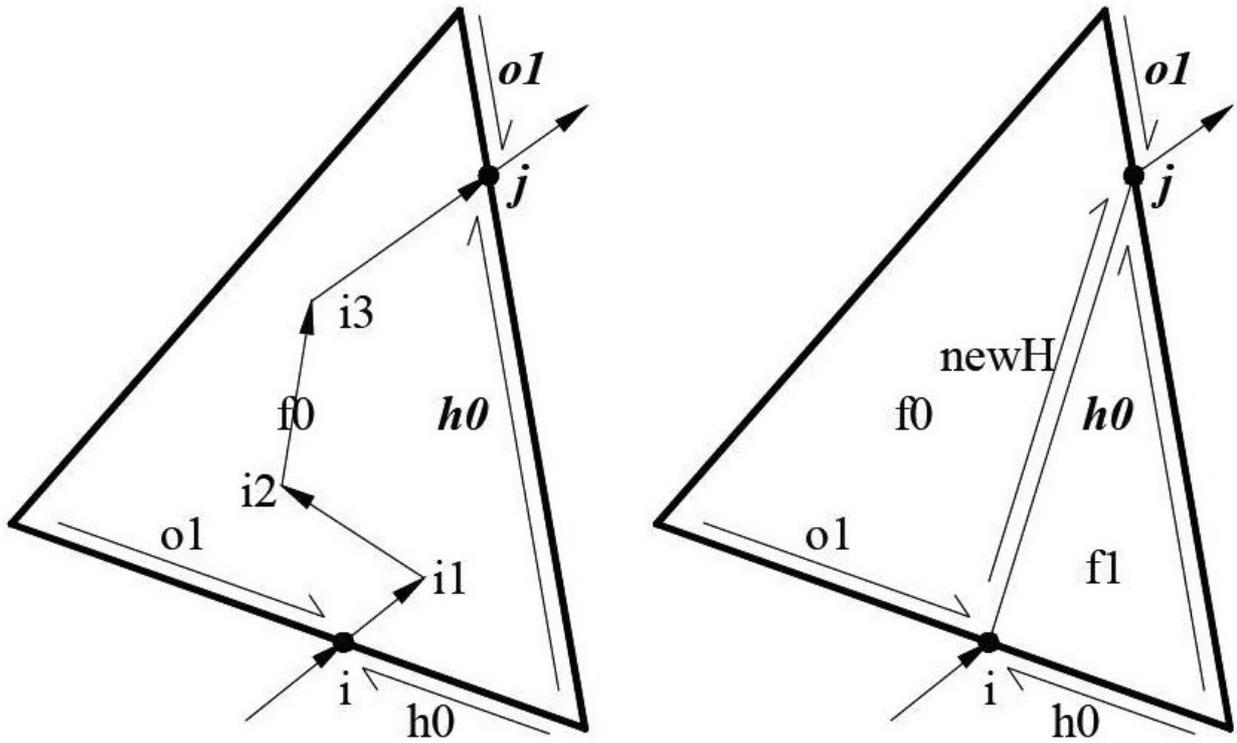


图 7

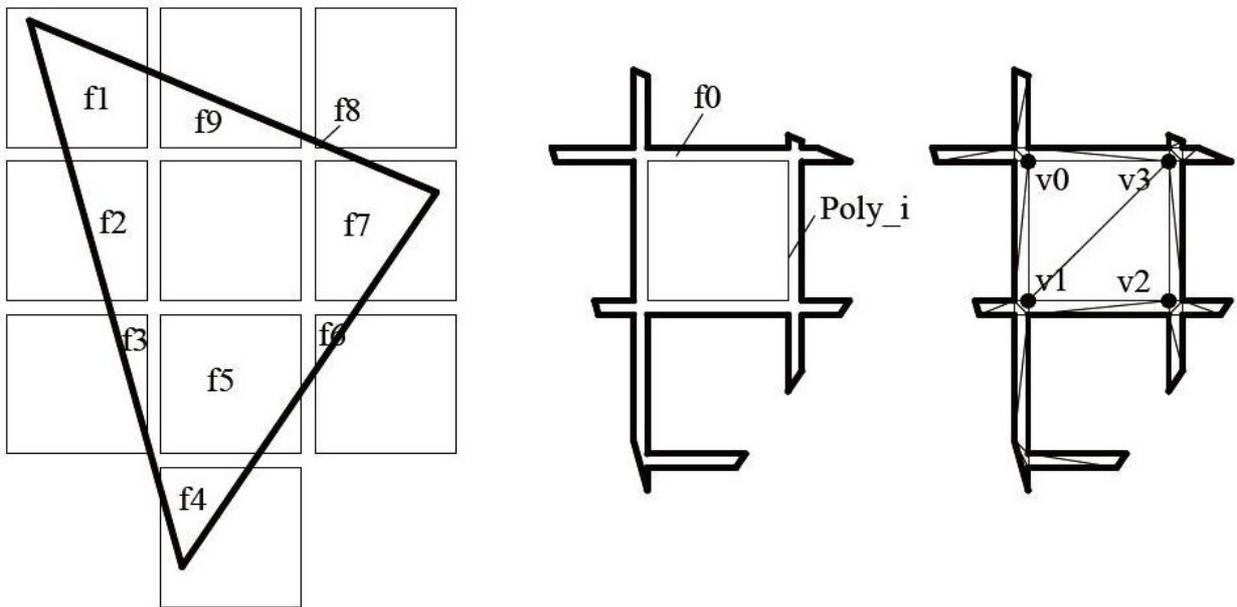


图 8

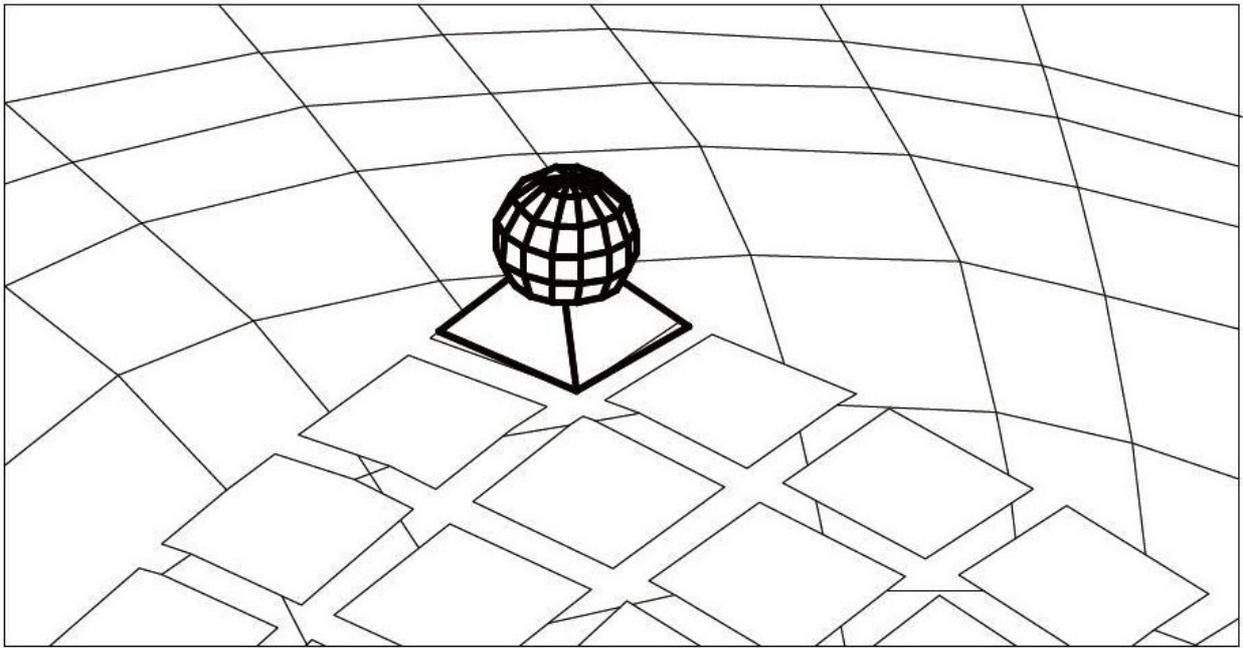


图 9

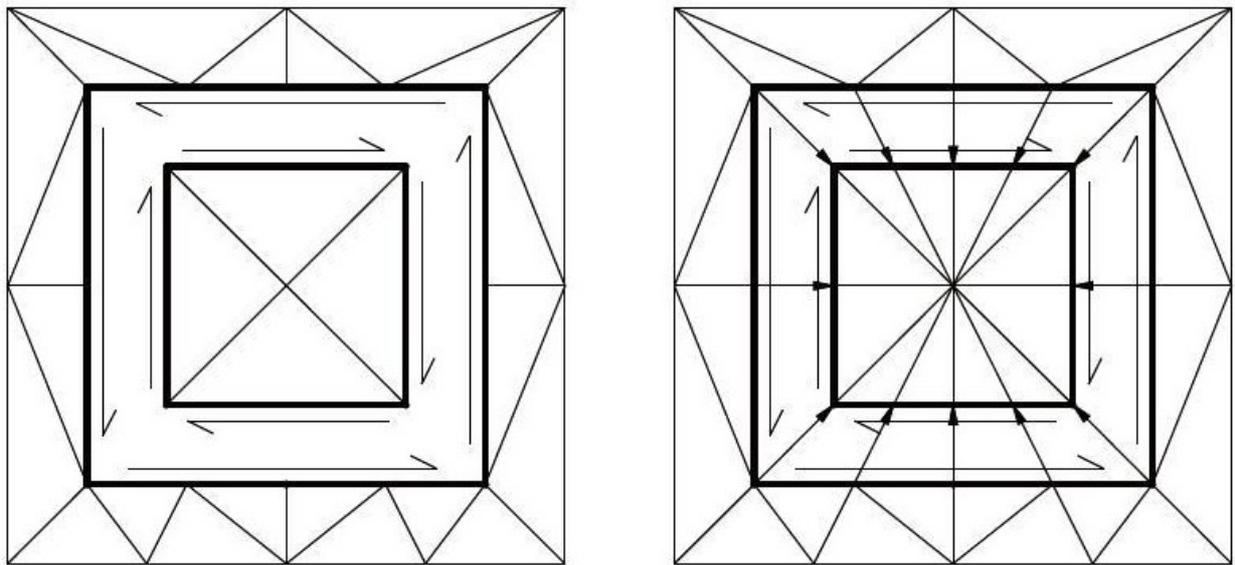


图 10

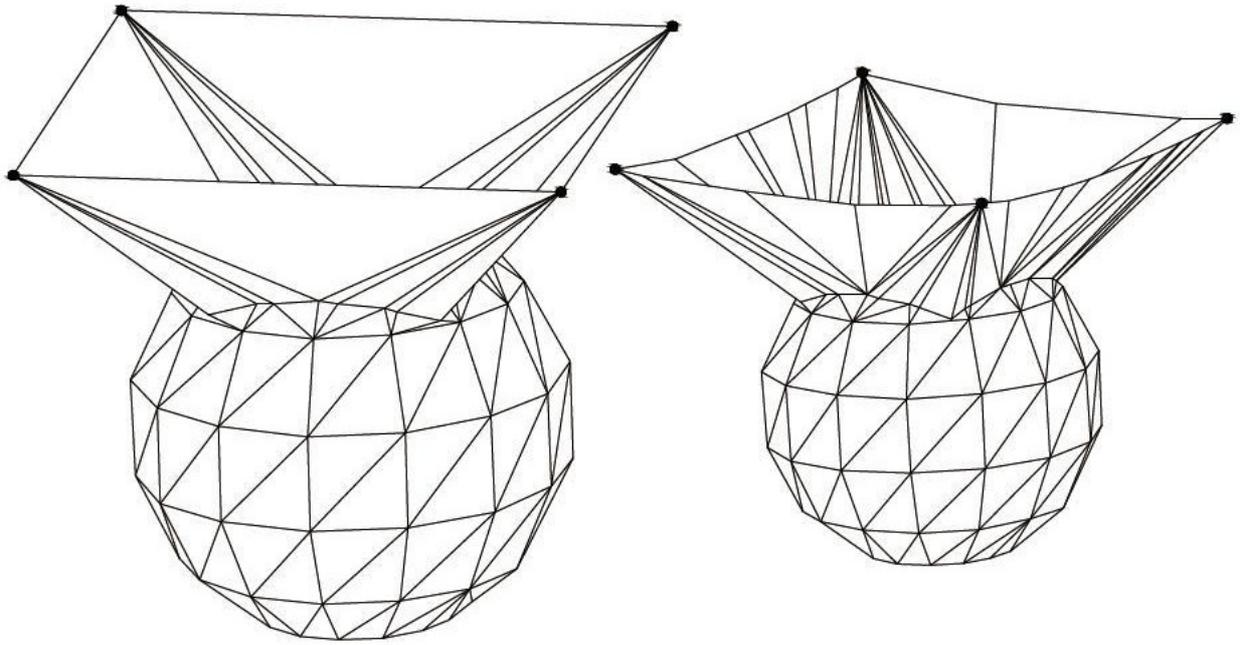


图 11

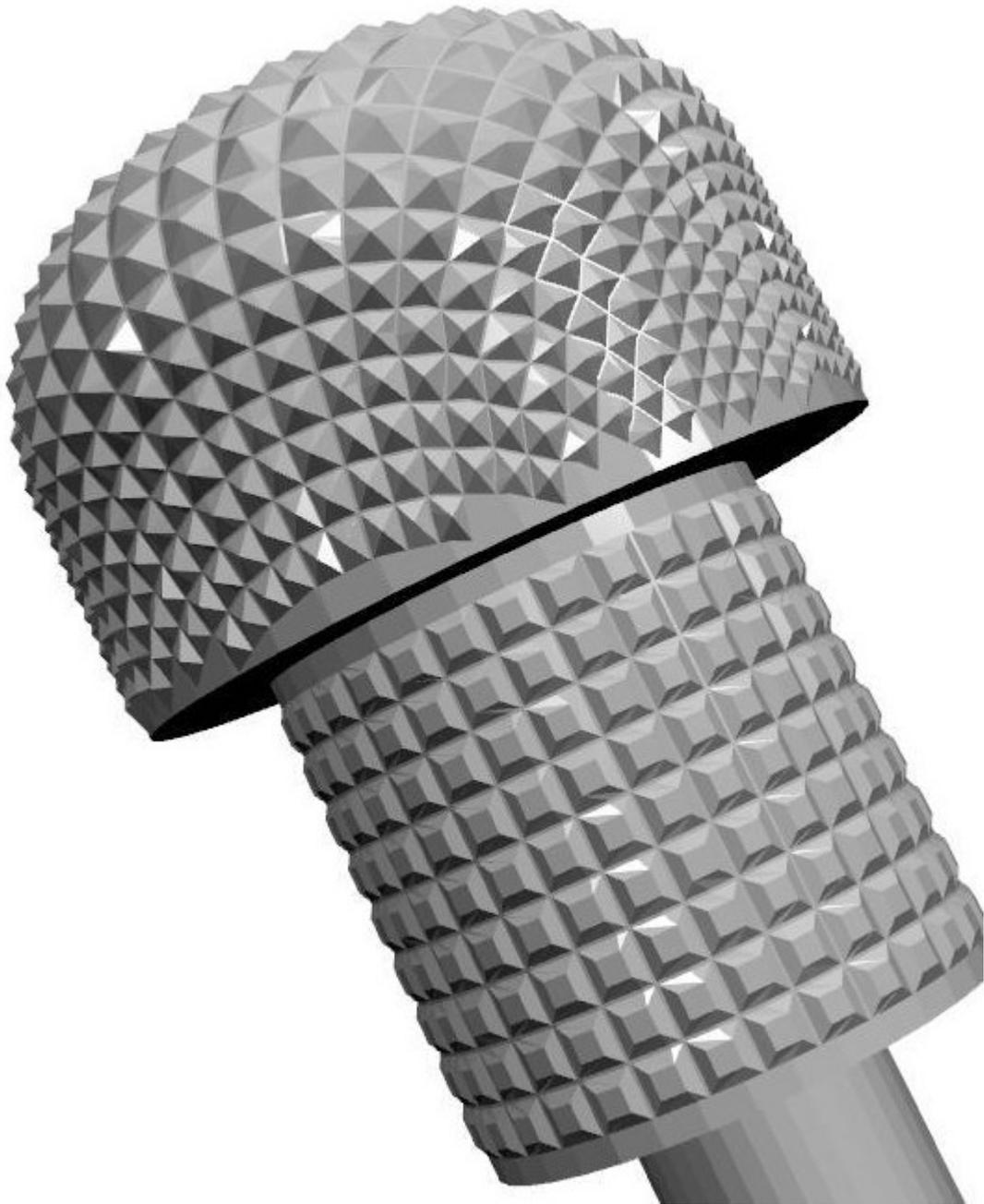


图 12

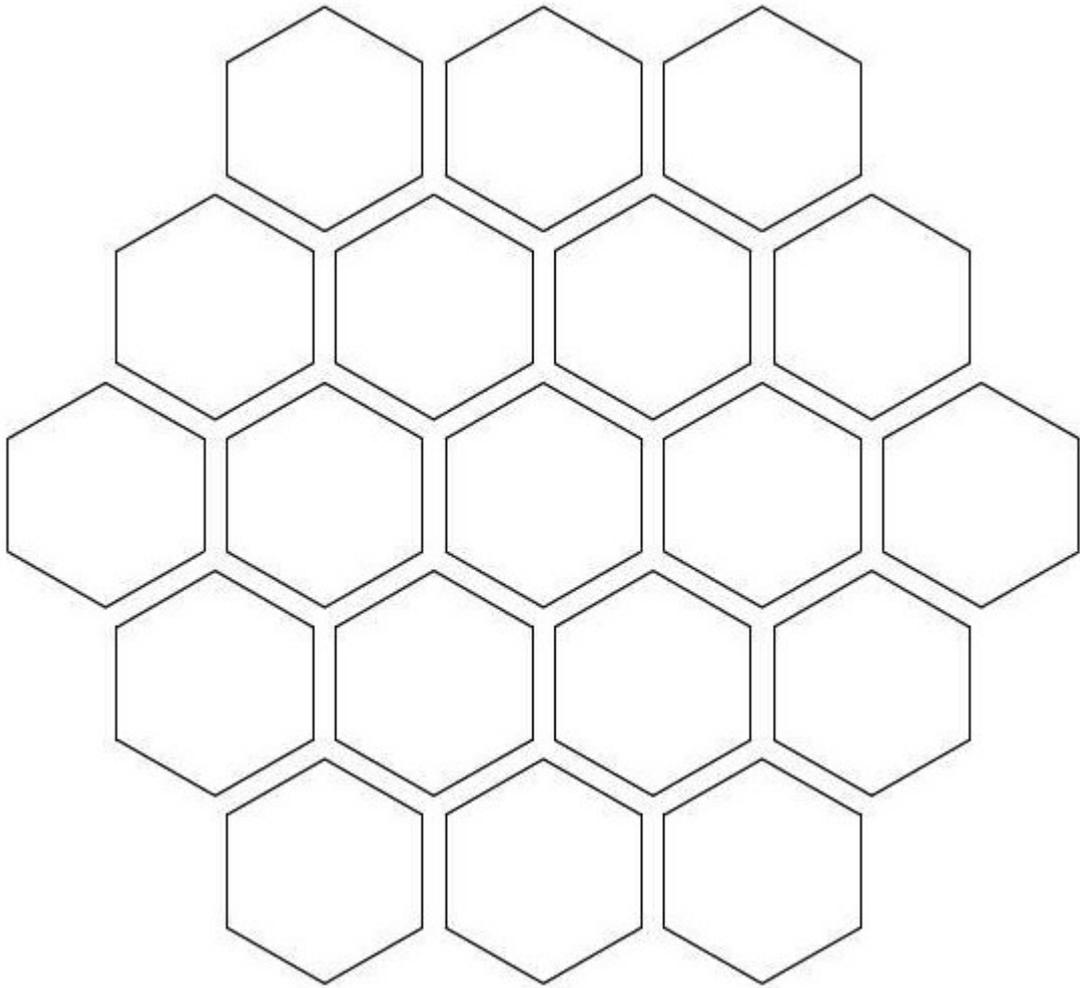


图 13

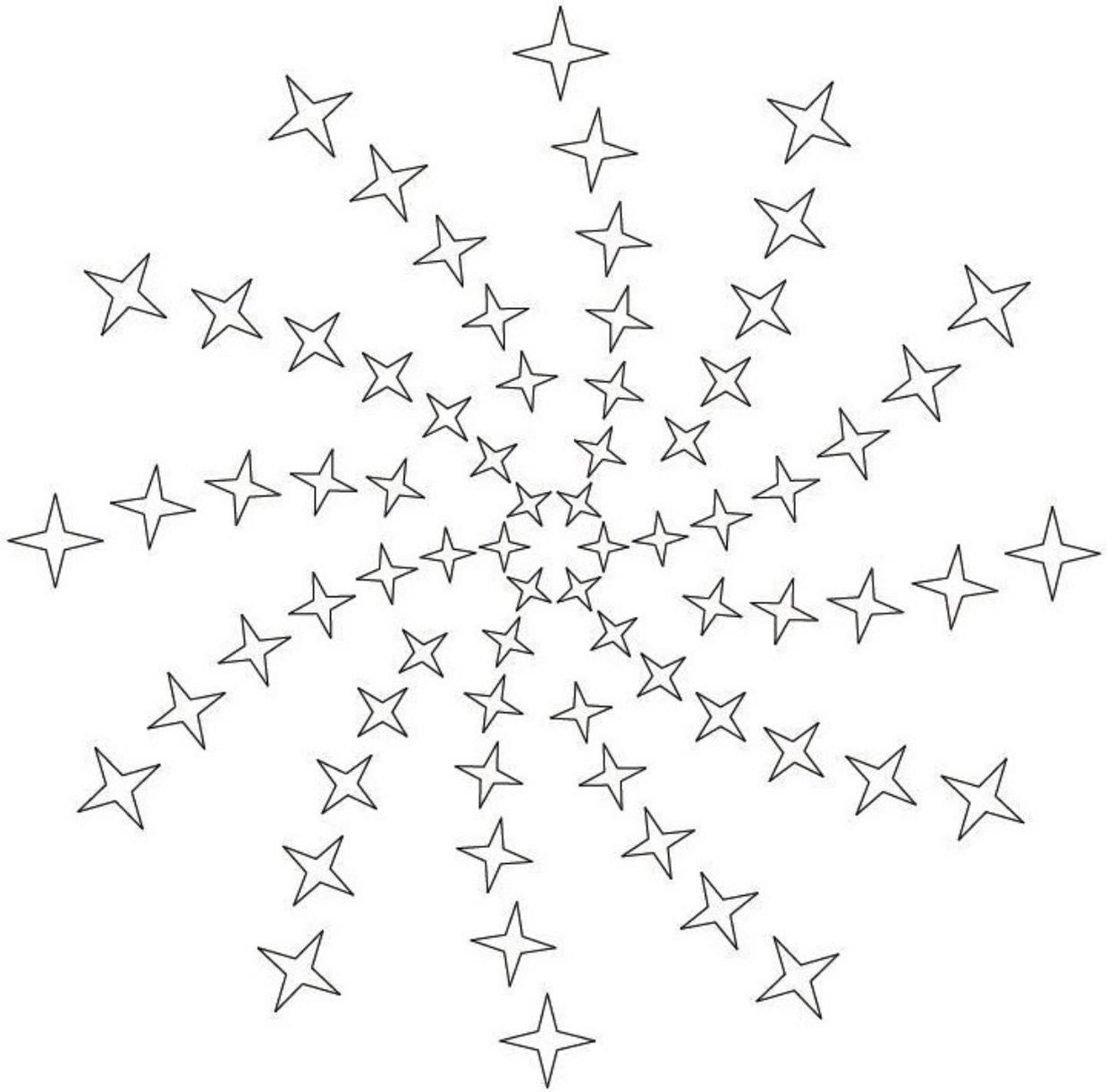


图 14

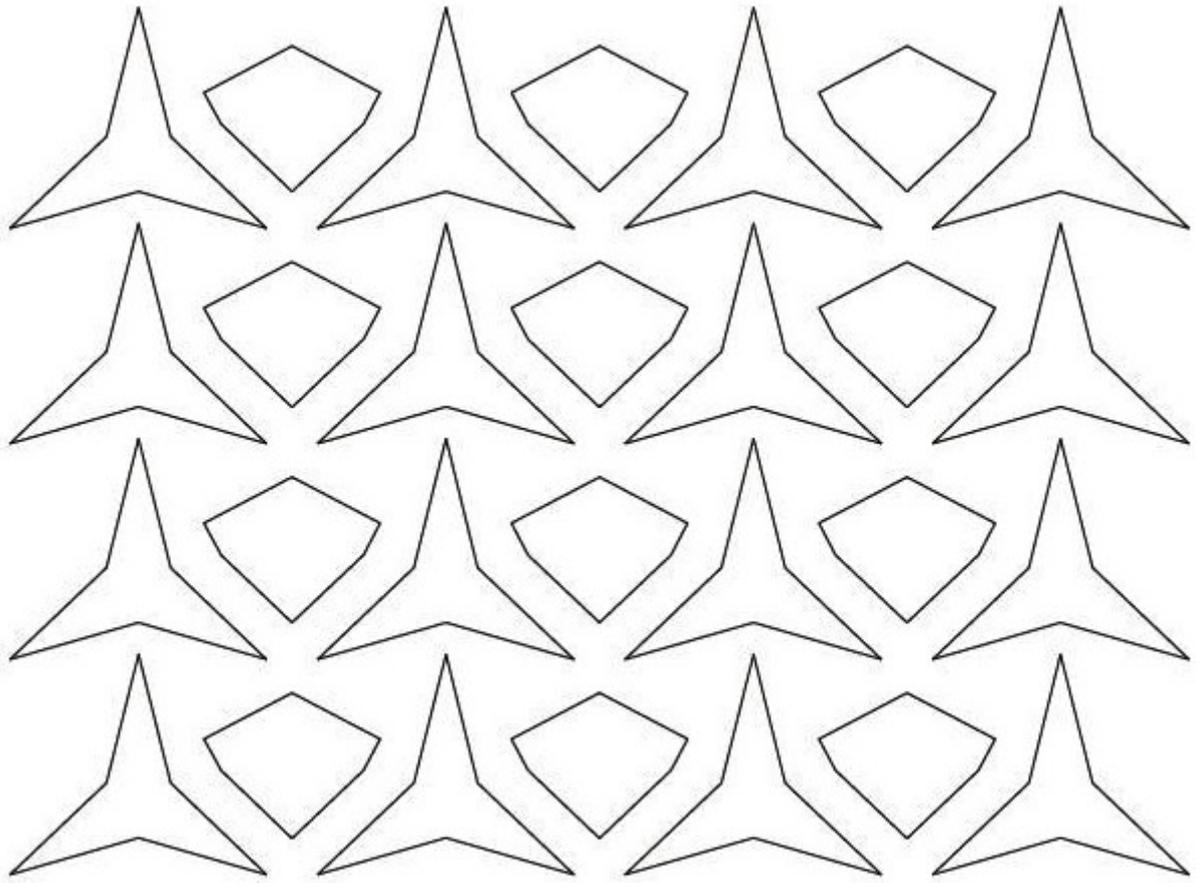


图 15