



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116883685 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 13

(21) 申请号 202310913723.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2023.07.24

G06V 10/44 (2022.01)

G06V 10/77 (2022.01)

(71) 申请人 成都信息工程大学

G06V 10/764 (2022.01)

G06F 17/11 (2006.01)

地址 610225 四川省成都市西南航空港经济开发区学府路1段24号

申请人 浙江大学山东工业技术研究院
浙江大学
蔚来汽车科技(安徽)有限公司

(72) 发明人 许源平 唐聃 孔超 张朝龙

曹衍龙 李涂鲲 罗钧鼎 付红圣
徐俊鸿

(74) 专利代理机构 北京正华智诚专利代理事务
所(普通合伙) 11870

专利代理师 何凡

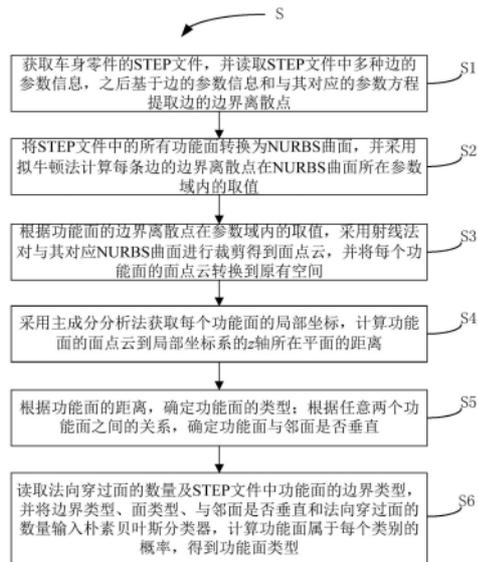
权利要求书4页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法,其包括获取车身零件的STEP文件,基于STEP文件中边的参数信息提取边的边界离散点;将功能面转换为NURBS曲面,采用拟牛顿法计算获取边界离散点在参数域内的取值,之后采用射线法对NURBS曲面进行裁剪得到面点云,将面点云转换到原有空间;采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标,计算功能面的每个面点云到局部坐标系的z轴所在平面的距离;确定功能面的类型及两个功能面是否垂直;根据功能面的边界类型、面类型、与邻面是否垂直和法向穿过面的数量,采用朴素贝叶斯分类器得到功能面类型。



1. 基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、获取车身零件的STEP文件,并读取STEP文件中多种边的参数信息,之后基于边的参数信息和与其对应的参数方程提取边的边界离散点;

S2、将STEP文件中的所有功能面转换为NURBS曲面,并采用拟牛顿法计算每条边的边界离散点在NURBS曲面所在参数域内的取值;

S3、根据功能面的边界离散点在参数域内的取值,采用射线法对与其对应NURBS曲面进行裁剪得到面点云,并将每个功能面的面点云转换到原有空间;

S4、采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标,计算功能面的面点云到局部坐标系的z轴所在平面的距离;

S5、根据功能面的距离,确定功能面的类型;根据任意两个功能面之间的关系,确定功能面与邻面是否垂直;

S6、读取法向穿过面的数量及STEP文件中功能面的边界类型,并将边界类型、面类型、与邻面是否垂直和法向穿过面的数量输入朴素贝叶斯分类器,计算功能面属于每个类别的概率,得到功能面类型。

2. 根据权利要求1所述的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,所述功能面包括多条边,边的实体直线和NURBS曲线的参数方程分别为:

$$p_{\text{直}} = [1 \ t] * [o_{\text{原}} \ d]^T$$

$$p(k) = \frac{\sum_{i=0} N_{i,m}(k) w_i P_i}{\sum_{i=0} N_{i,m}(k) w_i}$$

$$N_{i,0}(k) = \begin{cases} 1(k_i \leq k \leq k_{i+1}) \\ 0(others) \end{cases}$$

$$N_{i,m}(k) = \frac{(k - k_i) N_{i,m-1}(k)}{k_{i+m} - k_i} + \frac{(k_{i+m+1} - k) N_{i+1,m-1}(k)}{k_{i+m+1} - k_{i+1}}, m \geq 1$$

其中, $p_{\text{直}}$ 为直线参数方程; t 为直线的长度参数, $o_{\text{原}}$ 为直线的原点; d 为直线的方向; $[\]^T$ 为转置; $p(k)$ 为NURBS曲线的参数方程; $N_{i,m}(k)$, $N_{i,m-1}(k)$ 和 $N_{i+1,m-1}(k)$ 均为基函数、 $N_{i,0}(k)$ 为第*i*个且阶数为0的基函数的值; w_i 为权重; P_i 为控制点; k_i 、 k_{i+1} 、 k_{i+m} 、 k_{i+m+1} 均为参数; m 为阶数。

3. 根据权利要求1所述的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,提取边的实体圆线的边界离散点的方法包括:

A1、任意取全局x、y、z轴的方向向量与圆的法向n进行叉乘,并判断叉乘结果是否等于零,若是,则重复步骤A1,否则进入步骤A2;

A2、将方向向量设为a方向,并将圆的法向n与a向叉乘,得到b方向;采用a,b,N作为圆线的局部坐标系,并按照n方向投影为一个二维平面;

A3、去除局部坐标系中的z轴,得到圆线在二维平面的起点和终点坐标,并采用起点和终点坐标计算其正弦值 v_1 和余弦值 v_2 ;

A4、根据正弦值 v_1 和余弦值 v_2 ,计算圆线角度 θ :

$$\theta = \begin{cases} \arccos(v_1), v_1 > 0, v_2 \geq 0 \\ \arccos(v_1), v_1 \leq 0, v_2 \geq 0 \\ \arccos(v_1) + 2[\pi - \arccos(v_1)], v_1 < 0, v_2 < 0 \\ \arcsin(v_2), v_1 \geq 0, v_2 < 0 \end{cases}$$

A5、根据圆线角度 θ ,采用圆线的参数方程提取圆线的边界离散点,圆线的参数方程为:

$$p_{\text{圆}} = [1 \ r \cos\theta \ r \sin\theta] * [o_{\text{心}} \ a \ b]^T$$

其中, $p_{\text{圆}}$ 为圆的直线参数方程; r 为圆的半径; $o_{\text{心}}$ 为圆心; a 和 b 分别为相互垂直且垂直于圆线法向的两个方向向量。

4.根据权利要求1所述的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,将STEP文件中的所有功能面转换为NURBS曲面及将每个功能面的面点云转换到原有空间的转换公式均为:

$$p(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,m}(u) N_{j,n}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,m}(u) N_{j,n}(v) w_{i,j}}$$

其中, $p(u, v)$ 为NURBS曲面每个点的值; $N_{i,m}(u)$ 为 u 方向基函数; $N_{j,n}(v)$ 为 v 方向的基函数; $w_{i,j}$ 为权重; $P_{i,j}$ 为控制点网格。

5.根据权利要求4所述的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,采用拟牛顿法计算每条边的边界离散点在NURBS曲面所在参数域内的取值的方法包括:

S21、选取功能面的边上任一边界点 $[x_i, y_i, z_i]$, $i=0,1,2,\dots,f$,并取其对应的NURBS曲面与边界点 $[x_i, y_i, z_i]$ 最近的点 P ,并取点 P 在参数域中对应的值 u_i 和 v_i 作为牛顿迭代法的初值;

S22、获取目标优化函数,当目标优化函数等于零时,得到参数域内点 P 的最优值,目标优化函数的计算公式为:

$$l(u, v) = [p(u, v) - P] [p(u, v) - P]^T$$

其中, $l(u, v)$ 为目标优化函数;

S23、采用最优值作为参数 q_c 的初始值 $q_0 = [u_0, v_0]^T$,初始化梯度 g_c 和对称正定矩阵 B_c , $c \geq 0$;梯度 g_c 的初始值 g_0 为:

$$g_0 = \begin{bmatrix} l_u(u_0, v_0) \\ l_v(u_0, v_0) \end{bmatrix}$$

其中, $l_u(u_0, v_0)$ 为对目标优化函数中的 u_0 求偏导; $l_v(u_0, v_0)$ 为对目标优化函数中的 v_0 求偏导;

S24、根据梯度 g_c 和对称正定矩阵 B_c ,计算参数 q_{c+1} :

$$q_{c+1} = q_c + \lambda_c B_c^{-1} g_c$$

其中, λ_c 为边的步长; $q_{c+1} = [u_{c+1}, v_{c+1}]^T$ 为第 $c+1$ 次迭代时的参数; u_{c+1}, v_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时牛顿迭代法的参数;

S25、对梯度矩阵进行更新:

$$g_{c+1} = \begin{bmatrix} l_u(u_{c+1}, v_{c+1}) \\ l_v(u_{c+1}, v_{c+1}) \end{bmatrix}$$

其中, g_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时的参数; $l_u(u_{c+1}, v_{c+1})$ 为对目标优化函数中的 u_{c+1} 求偏导; $l_v(u_{c+1}, v_{c+1})$ 为对目标优化函数中的 v_{c+1} 求偏导;

S26、对称正定矩阵 B_{c+1} 进行更新:

$$B_{c+1} = \begin{cases} B_c + \frac{Y_c Y_c^T}{Y_c^T s_c} - \frac{B_c s_c s_c^T B_c}{s_c^T B_c s_c} & Y_c^T s_c > 0 \\ B_c & Y_c^T s_c \leq 0 \end{cases}$$

$$S_c = q_{c+1} - q_c, Y_c = g_{c+1} - g_c$$

其中, Y_c 和 s_c 均为中间参数; Y_c^T 为 Y_c 的转置; g_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时的梯度; B_{c+1} 和 B_c 均为第 $c+1$ 、第 c 次迭代时的对称正定矩阵;

S27、判断 $\|g_{c+1}\|$ 是否大于等于阈值 ϵ , 若是, 令 $c=c+1$, 并返回步骤 S24; 否则输出 q_{c+1} 为边界点 (x_i, y_i, z_i) 在参数域内的最优值, 并进入步骤 S28;

S28、判断 i 是否大于等于 f , 若是, 则边的所有边界点 (x_i, y_i, z_i) 在参数域内的最优均已找到, 否则, 令 $i=i+1$, 并返回步骤 S21。

6. 根据权利要求 1 所述的车身零件特征信息获取方法, 其特征在于, 采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标系的方法包括:

根据功能面上的面点云, 计算特征值:

$$\overline{X_{\text{点}}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M X_{\text{点}I}, \quad \overline{Y_{\text{点}}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M Y_{\text{点}I}$$

$$h_{\text{特}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M (X_{\text{点}I} - \overline{X_{\text{点}}}) (Y_{\text{点}I} - \overline{Y_{\text{点}}})^T, \quad h = U H V^T$$

其中, $\overline{X_{\text{点}}}$ 和 $\overline{Y_{\text{点}}}$ 分别为功能面上所有面点云 X 坐标值和 Y 坐标值的平均值; M 为功能面上面点云的总个数; $X_{\text{点}I}$ 和 $Y_{\text{点}I}$ 分别为功能面上第 I 个面点云的 X 坐标值和 Y 坐标值; $h_{\text{特}}$ 为特征矩阵; U 和 V 均为特征矩阵, H 为特征值;

对 $h_{\text{特}}$ 进行特征分解, 分解后将特征值按由大到小排列构成的特征向量组成一个三维矩阵, 三维矩阵代表三个主轴矩阵, 得到局部坐标系。

7. 根据权利要求 6 所述的车身零件特征信息获取方法, 其特征在于, 计算功能面的面点云到局部坐标系的 z 轴所在平面的距离的公式为:

$$L_I = \frac{|m_I p_z * n|}{|n|}$$

其中, m_I 为功能面上第 I 个离散点; p_z 为 z 轴所在平面上任意一点, n 为法向。

8. 根据权利要求 1 所述的车身零件特征信息获取方法, 其特征在于, 功能面的法向穿过面的数量的获取方法包括:

采用主成分分析法获取功能面法向为 z 轴的局部坐标系, 并在功能面上任意选取一个点 $P_{\text{法}}$, 并通过公式 $R_p - R_o$ 得到点 $P_{\text{法}}$ 在二维坐标系下的坐标;

采用射线法确定点 $P_{法}$ 穿过面的数量,作为功能面的法向穿过面的数量。

9.根据权利要求1所述的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,根据功能面的距离,确定功能面的类型的方法包括:

选取每个功能面对应的最大距离,并判断最大距离是否大于预设阈值,若是,则功能面的类型为曲面,否则功能面的类型为平面。

10.根据权利要求1所述的车身零件特征信息获取方法,其特征在于,根据任意两个功能面之间的关系,确定功能面与邻面是否垂直的方法包括:

B1、判断任意两个功能面是否具有共同的起点和终点,若是进入步骤B2,否则标记功能面与邻面不垂直;

B2、判断两个功能面对应的法线是否相互垂直,若是,则标记功能面与邻面垂直;否则标记功能面与邻面不垂直。

一种基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及特征识别技术,具体涉及一种基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法。

背景技术

[0002] CAD(Computer Aided Design)模型的信息获取对于设计到制造的转换至关重要。在一些自动化的工程当中,例如基准的自动化定位,通常基准需要根据零件外在的一些避让特征来确定其所在的位置,如果特征的识别不准确,会使功能面的类型划分不准确,从而使得基准选取不准确,最终导致车身零件生产出现较大误差。现如今大多数特征识别更多是基于工业软件的二次开发,这大大限制了信息传递的灵活性。基于STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data)文件的信息获取方法是近年来比较流行的一种CAD模型几何信息获取方法,通过开源库OPENCASCADE或者PythonOCC来获取几何信息。

[0003] 现阶段的特征识别方法主要可以分为三大类:利用边界匹配的方法进行识别,利用立体分解进行特征识别的方法以及利用加工面到加工资源映射的识别方法,其中最常用的是边界匹配的方法,其思想的核心是将现有统计的知识库中的特征元与需要进行识别的特征的模型进行匹配。

[0004] 以上的方法只能初步得达到CAD模型当中避让特征的识别,但是其个性化的特征定义方法针对性较强,很难进行推广。所以总结现如今的技术方案得缺点有以下几个方面:

[0005] 依赖于第三方库的解析,无法从底层纠正一些面的属性,特别是平面和曲面的区分,这些歧义属性降低了识别准确率。基于图匹配的方法的鲁棒性较差,难以对一些复合特征以及复杂特征进行有效的识别。

发明内容

[0006] 针对现有技术中的上述不足,本发明提供的基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法解决了现有特征识别出现的歧义属性致使识别准确率低的问题。

[0007] 为了达到上述发明目的,本发明采用的技术方案为:

[0008] 提供一种基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法,其包括以下步骤:

[0009] S1、获取车身零件的STEP文件,并读取STEP文件中多种边的参数信息,之后基于边的参数信息和与其对应的参数方程提取边的边界离散点;

[0010] S2、将STEP文件中的所有功能面转换为NURBS曲面,并采用拟牛顿法计算每条边的边界离散点在NURBS曲面所在参数域内的取值;

[0011] S3、根据功能面的边界离散点在参数域内的取值,采用射线法对与其对应NURBS曲面进行裁剪得到面点云,并将每个功能面的面点云转换到原有空间;

[0012] S4、采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标,计算功能面的面点云到局部坐标系的z轴所在平面的距离;

[0013] S5、根据功能面的距离,确定功能面的类型;根据任意两个功能面之间的关系,确

定功能面与邻面是否垂直；

[0014] S6、读取法向穿过面的数量及STEP文件中功能面的边界类型，并将边界类型、面类型、与邻面是否垂直和法向穿过面的数量输入朴素贝叶斯分类器，计算功能面属于每个类别的概率，得到功能面类型。

[0015] 进一步地，所述功能面包括多条边，边的实体直线和NURBS曲线的参数方程分别为：

$$[0016] \quad p_{\text{直}} = [1 \quad t] * [o_{\text{原}} \quad d]^T$$

$$[0017] \quad p(k) = \frac{\sum_{i=0} N_{i,m}(k) w_i P_i}{\sum_{i=0} N_{i,m}(k) w_i}$$

$$[0018] \quad N_{i,0}(k) = \begin{cases} 1(k_i \leq k \leq k_{i+1}) \\ 0(others) \end{cases}$$

$$[0019] \quad N_{i,m}(k) = \frac{(k - k_i) N_{i,m-1}(k)}{k_{i+m} - k_i} + \frac{(k_{i+m+1} - k) N_{i+1,m-1}(k)}{k_{i+m+1} - k_{i+1}}, m \geq 1$$

[0020] 其中， $p_{\text{直}}$ 为直线参数方程； t 为直线的长度参数， $o_{\text{原}}$ 为直线的原点； d 为直线的方向； $[]^T$ 为转置； $p(k)$ 为NURBS曲线的参数方程； $N_{i,m}(k)$ 、 $N_{i,m-1}(k)$ 和 $N_{i+1,m-1}(k)$ 均为基函数、 $N_{i,0}(k)$ 为第 i 个且阶数为0的基函数的值； w_i 为权重； P_i 为控制点； k_i 、 k_{i+1} 、 k_{i+m} 、 k_{i+m+1} 均为参数； m 为阶数。

[0021] 上述技术方案的有益效果为：有助于特征的自动化获取，在自动化的条件下增加特征的识别准确率，进而增强基准定位的准确性，并且有助于工艺快速生成。

[0022] 进一步地，提取边的实体圆线的边界离散点的方法包括：

[0023] A1、任意取全局 x 、 y 、 z 轴的方向向量与圆的法向 n 进行叉乘，并判断叉乘结果是否等于零，若是，则重复步骤A1，否则进入步骤A2；

[0024] A2、将方向向量设为 a 方向，并将圆的法向 n 与 a 向叉乘，得到 b 方向；采用 a 、 b 、 N 作为圆线的局部坐标系，并按照 n 方向投影为一个二维平面；

[0025] A3、去除局部坐标系中的 z 轴，得到圆线在二维平面的起点和终点坐标，并采用起点和终点坐标计算其正弦值 v_1 和余弦值 v_2 ；

[0026] A4、根据正弦值 v_1 和余弦值 v_2 ，计算圆线角度 θ ：

$$[0027] \quad \theta = \begin{cases} \arccos(v_1), v_1 > 0, v_2 \geq 0 \\ \arccos(v_1), v_1 \leq 0, v_2 \geq 0 \\ \arccos(v_1) + 2[\pi - \arccos(v_1)], v_1 < 0, v_2 < 0 \\ \arcsin(v_2), v_1 \geq 0, v_2 < 0 \end{cases}$$

[0028] A5、根据圆线角度 θ ，采用圆线的参数方程提取圆线的边界离散点，圆线的参数方程为：

$$[0029] \quad p_{\text{圆}} = [1 \quad r \cos \theta \quad r \sin \theta] * [o_{\text{心}} \quad a \quad b]^T$$

[0030] 其中, $p_{\text{圆}}$ 为圆的直线参数方程; r 为圆的半径; $o_{\text{心}}$ 为圆心; a 和 b 分别为相互垂直且垂直于圆线法向的两个方向向量。

[0031] 上述技术方案的有益效果为: 上述方式可以更简单、准确地在三维空间当中生成圆线的离散点。

[0032] 进一步地, 将STEP文件中的所有功能面转换为NURBS曲面及将每个功能面的面点云转换到原有空间的转换公式均为:

$$[0033] \quad p(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,m}(u) N_{j,n}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,m}(u) N_{j,n}(v) w_{i,j}}$$

[0034] 其中, $p(u, v)$ 为NURBS曲面每个点的值; $N_{i,m}(u)$ 为 u 方向基函数; $N_{j,n}(v)$ 为 v 方向的基函数; $w_{i,j}$ 为权重; $P_{i,j}$ 为控制点网格。

[0035] 进一步地, 采用拟牛顿法计算每条边的边界离散点在NURBS曲面所在参数域内的取值的方法包括:

[0036] S21、选取功能面的边上任一边界点 $[x_i, y_i, z_i]$, $i = 0, 1, 2, \dots, f$, 并取其对应的NURBS曲面与边界点 $[x_i, y_i, z_i]$ 最近的点 P , 并取点 P 在参数域中对应的值 u_i 和 v_i 作为牛顿迭代法的初值;

[0037] S21、选取功能面的边上任一边界点 $[x_i, y_i, z_i]$, $i = 0, 1, 2, \dots, f$, 并取其对应的NURBS曲面与边界点 $[x_i, y_i, z_i]$ 最近的点 P , 并取点 P 在参数域中对应的值 u_i 和 v_i 作为牛顿迭代法的初值;

[0038] S22、获取目标优化函数, 当目标优化函数等于零时, 得到参数域内点 P 的最优值, 目标优化函数的计算公式为:

$$[0039] \quad l(u, v) = [p(u, v) - P] [p(u, v) - P]^T$$

[0040] 其中, $l(u, v)$ 为目标优化函数;

[0041] S23、采用最优值作为参数 q_c 的初始值 $q_0 = [u_0, v_0]^T$, 初始化梯度 g_c 和对称正定矩阵 B_c , $c \geq 0$; 梯度 g_c 的初始值 g_0 为:

$$[0042] \quad g_0 = \begin{bmatrix} l_u(u_0, v_0) \\ l_v(u_0, v_0) \end{bmatrix}$$

[0043] 其中, $l_u(u_0, v_0)$ 为对目标优化函数中的 u_0 求偏导; $l_v(u_0, v_0)$ 为对目标优化函数中的 v_0 求偏导;

[0044] S24、根据梯度 g_c 和对称正定矩阵 B_c , 计算参数 q_{c+1} :

$$[0045] \quad q_{c+1} = q_c + \lambda_c B_c^{-1} g_c$$

[0046] 其中, λ_c 为边的步长; $q_{c+1} = [u_{c+1}, v_{c+1}]^T$ 为第 $c+1$ 次迭代时的参数; u_{c+1}, v_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时牛顿迭代法的参数;

[0047] S25、对梯度矩阵进行更新:

$$[0048] \quad g_{c+1} = \begin{bmatrix} l_u(u_{c+1}, v_{c+1}) \\ l_v(u_{c+1}, v_{c+1}) \end{bmatrix}$$

[0049] 其中, g_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时的参数; $l_u(u_{c+1}, v_{c+1})$ 为对目标优化函数中的 u_{c+1} 求偏导; $l_v(u_{c+1}, v_{c+1})$ 为对目标优化函数中的 v_{c+1} 求偏导;

[0050] S26、对称正定矩阵 B_{c+1} 进行更新:

$$[0051] \quad B_{c+1} = \begin{cases} B_c + \frac{Y_c Y_c^T}{Y_c^T s_c} - \frac{B_c s_c s_c^T B_c}{s_c^T B_c s_c} & Y_c^T s_c > 0 \\ B_c & Y_c^T s_c \leq 0 \end{cases}$$

[0052] $S_c = q_{c+1} - q_c, Y_c = g_{c+1} - g_c$

[0053] 其中, Y_c 和 s_c 均为中间参数; Y_c^T 为 Y_c 的转置; g_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时的梯度; B_{c+1} 和 B_c 均为第 $c+1$ 、第 c 次迭代时的对称正定矩阵;

[0054] S27、判断 $\|g_{c+1}\|$ 是否大于等于阈值 ε , 若是, 令 $c = c+1$, 并返回步骤 S24; 否则输出 q_{c+1} 为边界点 (x_i, y_i, z_i) 在参数域内的最优值, 并进入步骤 S28;

[0055] S28、判断 i 是否大于等于 f , 若是, 则边的所有边界点 (x_i, y_i, z_i) 在参数域内的最优均已找到, 否则, 令 $i = i+1$, 并返回步骤 S21。

[0056] 上述技术方案的有益效果为: 上述裁剪方式, 可以在降低计算复杂度得情况下, 更快速、更准确得对自由曲面进行裁剪。

[0057] 进一步地, 采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标系的方法包括:

[0058] 根据功能面上的面点云, 计算特征值:

$$[0059] \quad \overline{X_{\text{点}}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M X_{\text{点}I}, \quad \overline{Y_{\text{点}}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M Y_{\text{点}I}$$

$$[0060] \quad h_{\text{特}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M (X_{\text{点}I} - \overline{X_{\text{点}}}) (Y_{\text{点}I} - \overline{Y_{\text{点}}})^T, \quad h = U H V^T$$

[0061] 其中, $\overline{X_{\text{点}}}$ 和 $\overline{Y_{\text{点}}}$ 分别为功能面上所有面点云 X 坐标值和 Y 坐标值的平均值; M 为功能面上面点云的总个数; $X_{\text{点}I}$ 和 $Y_{\text{点}I}$ 分别为功能面上第 I 个面点云的 X 坐标值和 Y 坐标值; $h_{\text{特}}$ 为特征矩阵; U 和 V 均为特征矩阵, H 为特征值;

[0062] 对 $h_{\text{特}}$ 进行特征分解, 分解后将特征值按由大到小排列构成的特征向量组成一个三维矩阵, 三维矩阵代表三个主轴矩阵, 得到局部坐标系。

[0063] 进一步地, 计算功能面的面点云到局部坐标系的 z 轴所在平面的距离的公式为:

$$[0064] \quad L_I = \frac{|m_I p_z * n|}{|n|}$$

[0065] 其中, m_I 为功能面上第 I 个离散点; p_z 为 z 轴所在平面上任意一点, n 为法向。

[0066] 进一步地, 功能面的法向穿过面的数量的获取方法包括:

[0067] 采用主成分分析法获取功能面法向为 z 轴的局部坐标系, 并在功能面上任意选取一个点 $P_{\text{法}}$, 并通过公式 $R_p - R_o$ 得到点 $P_{\text{法}}$ 在二维坐标系下的坐标;

[0068] 采用射线法确定点 $P_{\text{法}}$ 穿过面的数量, 作为功能面的法向穿过面的数量。

[0069] 进一步地, 根据功能面的距离, 确定功能面的类型的方法包括:

[0070] 选取每个功能面对应的最大距离, 并判断最大距离是否大于预设阈值, 若是, 则功能面的类型为曲面, 否则功能面的类型为平面。

[0071] 进一步地,根据任意两个功能面之间的关系,确定功能面与邻面是否垂直的方法包括:

[0072] B1、判断任意两个功能面是否具有共同的起点和终点,若是进入步骤B2,否则标记功能面与邻面不垂直;

[0073] B2、判断两个功能面对应的法线是否相互垂直,若是,则标记功能面与邻面垂直;否则标记功能面与邻面不垂直。

[0074] 本发明的有益效果为:本方案基于STEP文件的基础上提出一种从解析到识别的CAD数模几何信息提取框架,有效避免了传统的单靠属性邻接图准确率低的缺点,并且本方案重新纠正了STEP文件解析上的一些细节,增强了所提算法对特征识别的稳定性。

[0075] 本方案在初始信息的获取方面,通过生成面的离散点(面点云),再得到离散点的基础上将面的类型分为简单的曲面和平面两类来降低面类型的复杂性,通过构建每种特征属性,最后使用朴素贝叶斯分类器来对特征进行分类,解决了传统子图匹配算法当中子图的节点数固定的缺点。

附图说明

[0076] 图1为基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法的流程图。

[0077] 图2为圆弧角度的确定。

[0078] 图3为STEP文件中各功能面格式。

[0079] 图4为射线法判断内外点的示意图。

[0080] 图5为平面点云的裁剪示意。

[0081] 图6为面点云裁剪的流程图。

具体实施方式

[0082] 下面对本发明的具体实施方式进行描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

[0083] 参考图1,图1示出了基于STEP文件解析的车身零件特征信息获取方法的流程图;如图1所示,该方法包括步骤S1至步骤S7。

[0084] 在步骤S1中,获取车身零件的STEP文件,并读取STEP文件中多种边的参数信息,之后基于边的参数信息和与其对应的参数方程提取边的边界离散点。

[0085] 参数信息根据STEP文件当中的字符信息进行解析,主要的字符信息分为实体信息和拓扑信息。实体信息主要是由几何体构成,一个零件当中的功能面主要是由实体信息和拓扑信息共同描述,再由功能面构成一个零件。

[0086] 以图2为例,在STEP文件中的一个“ADVANCED_FACE”代表一个功能面,可以根据其中内容读取到对于边的参数信息以及面的边界信息。一个面由其边界以及自身的类型构成,一个面往往包含多个边,而一个边的实体常用的分为直线、圆、带结点有理B样条曲线和非均匀有理B样条曲线(Non-uniform Rational B-spline curve, NURBS)这几类,这几类也指边界类型。

[0087] 实施时,本方案优选所述功能面包括多条边,边的实体直线和NURBS曲线的参数方程分别为:

$$[0088] \quad p_{\text{直}} = [1 \quad t] * [o_{\text{原}} \quad d]^T$$

$$[0089] \quad p(k) = \frac{\sum_{i=0} N_{i,m}(k) w_i P_i}{\sum_{i=0} N_{i,m}(k) w_i}$$

$$[0090] \quad N_{i,0}(k) = \begin{cases} 1(k_i \leq k \leq k_{i+1}) \\ 0(\text{others}) \end{cases}$$

$$[0091] \quad N_{i,m}(k) = \frac{(k - k_i) N_{i,m-1}(k)}{k_{i+m} - k_i} + \frac{(k_{i+m+1} - k) N_{i+1,m-1}(k)}{k_{i+m+1} - k_{i+1}}, m \geq 1$$

[0092] 其中, $p_{\text{直}}$ 为直线参数方程; t 为直线的长度参数, $o_{\text{原}}$ 为直线的原点; d 为直线的方向; $[]^T$ 为转置; $p(k)$ 为NURBS曲线的参数方程; $N_{i,m}(k)$, $N_{i,m-1}(k)$ 和 $N_{i+1,m-1}(k)$ 均为基函数、 $N_{i,0}(k)$ 为第*i*个且阶数为0的基函数的值; w_i 为权重; P_i 为控制点; k_i 、 k_{i+1} 、 k_{i+m} 、 k_{i+m+1} 均为参数; m 为阶数。

[0093] 在本发明的一个实施例中,提取边的实体圆线的边界离散点的方法包括:

[0094] A1、任意取全局x、y、z轴的方向向量与圆的法向n进行叉乘,并判断叉乘结果是否等于零,若是,则重复步骤A1,否则进入步骤A2;

[0095] A2、将方向向量设为a方向,并将圆的法向n与a向叉乘,得到b方向;采用a,b,N作为圆线的局部坐标系,并按照n方向投影为一个二维平面;转换的公式为 $R_p - R_o$,如图2所示,其中 $R = [a, b, n]$,p为坐标点,这里为起点或者终点,0为圆心。

[0096] A3、去除局部坐标系中的z轴,得到圆线在二维平面的起点和终点坐标,并采用起点和终点坐标计算其正弦值 v_1 和余弦值 v_2 ;

[0097] A4、根据正弦值 v_1 和余弦值 v_2 ,计算圆线角度 θ :

$$[0098] \quad \theta = \begin{cases} \arccos(v_1), v_1 > 0, v_2 \geq 0 \\ \arccos(v_1), v_1 \leq 0, v_2 \geq 0 \\ \arccos(v_1) + 2[\pi - \arccos(v_1)], v_1 < 0, v_2 < 0 \\ \arcsin(v_2), v_1 \geq 0, v_2 < 0 \end{cases}$$

[0099] A5、根据圆线角度 θ ,采用圆线的参数方程提取圆线的边界离散点,圆线的参数方程为:

$$[0100] \quad p_{\text{圆}} = [1 \quad r \cos \theta \quad r \sin \theta] * [o_{\text{心}} \quad a \quad b]^T$$

[0101] 其中, $p_{\text{圆}}$ 为圆的直线参数方程; r 为圆的半径; $o_{\text{心}}$ 为圆心; a 和 b 分别为相互垂直且垂直于圆线法向的两个方向向量。

[0102] 在步骤S2中,将STEP文件中的所有功能面转换为NURBS曲面,并采用拟牛顿法计算每条边的边界离散点在NURBS曲面所在参数域内的取值;

[0103] 在本发明的一个实施例中,将STEP文件中的所有功能面转换为NURBS曲面及将每

个功能面的面点云转换到原有空间的转换公式均为：

$$[0104] \quad p(u, v) = \frac{\sum_{i=0} \sum_{j=0} N_{i,m}(u) N_{j,n}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0} \sum_{j=0} N_{i,m}(u) N_{j,n}(v) w_{i,j}}$$

[0105] 其中, $p(u, v)$ 为NURBS曲面每个点的值; $N_{i,m}(u)$ 为 u 方向基函数; $N_{j,n}(v)$ 为 v 方向的基函数; $w_{i,j}$ 为权重; $P_{i,j}$ 为控制点网格。

[0106] 进一步地, 采用拟牛顿法计算每条边的边界离散点在NURBS曲面所在参数域内的取值的方法包括:

[0107] S21、选取功能面的边上任一边界点 $[x_i, y_i, z_i]$, $i = 0, 1, 2, \dots, f$, 并取其对应的NURBS曲面与边界点 $[x_i, y_i, z_i]$ 最近的点 P , 并取点 P 在参数域中对应的值 u_i 和 v_i 作为牛顿迭代法的初值;

[0108] S21、选取功能面的边上任一边界点 $[x_i, y_i, z_i]$, $i = 0, 1, 2, \dots, f$, 并取其对应的NURBS曲面与边界点 $[x_i, y_i, z_i]$ 最近的点 P , 并取点 P 在参数域中对应的值 u_i 和 v_i 作为牛顿迭代法的初值;

[0109] S22、获取目标优化函数, 当目标优化函数等于零时, 得到参数域内点 P 的最优值, 目标优化函数的计算公式为:

$$[0110] \quad l(u, v) = [p(u, v) - P] [p(u, v) - P]^T$$

[0111] 其中, $l(u, v)$ 为目标优化函数;

[0112] S23、采用最优值作为参数 q_c 的初始值 $q_0 = [u_0, v_0]^T$, 初始化梯度 g_c 和对称正定矩阵 B_c , $c \geq 0$; 梯度 g_c 的初始值 g_0 为:

$$[0113] \quad g_0 = \begin{bmatrix} l_u(u_0, v_0) \\ l_v(u_0, v_0) \end{bmatrix}$$

[0114] 其中, $l_u(u_0, v_0)$ 为对目标优化函数中的 u_0 求偏导; $l_v(u_0, v_0)$ 为对目标优化函数中的 v_0 求偏导;

[0115] S24、根据梯度 g_c 和对称正定矩阵 B_c , 计算参数 q_{c+1} :

$$[0116] \quad q_{c+1} = q_c + \lambda_c B_c^{-1} g_c$$

[0117] 其中, λ_c 为边的步长; $q_{c+1} = [u_{c+1}, v_{c+1}]^T$ 为第 $c+1$ 次迭代时的参数; u_{c+1}, v_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时牛顿迭代法的参数;

[0118] S25、对梯度矩阵进行更新:

$$[0119] \quad g_{c+1} = \begin{bmatrix} l_u(u_{c+1}, v_{c+1}) \\ l_v(u_{c+1}, v_{c+1}) \end{bmatrix}$$

[0120] 其中, g_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时的参数; $l_u(u_{c+1}, v_{c+1})$ 为对目标优化函数中的 u_{c+1} 求偏导; $l_v(u_{c+1}, v_{c+1})$ 为对目标优化函数中的 v_{c+1} 求偏导;

[0121] S26、对称正定矩阵 B_{c+1} 进行更新:

$$[0122] \quad B_{c+1} = \begin{cases} B_c + \frac{Y_c Y_c^T}{Y_c^T s_c} - \frac{B_c s_c s_c^T B_c}{s_c^T B_c s_c} & Y_c^T s_c > 0 \\ B_c & Y_c^T s_c \leq 0 \end{cases}$$

[0123] $S_c = q_{c+1} - q_c, Y_c = g_{c+1} - g_c$

[0124] 其中, Y_c 和 s_c 均为中间参数; Y_c^T 为 Y_c 的转置; g_{c+1} 为第 $c+1$ 次迭代时的梯度; B_{c+1} 和 B_c 均为第 $c+1$ 、第 c 次迭代时的对称正定矩阵;

[0125] S27、判断 $\|g_{c+1}\|$ 是否大于等于阈值 ε , 若是, 令 $c = c+1$, 并返回步骤 S24; 否则输出 q_{c+1} 为边界点 (x_i, y_i, z_i) 在参数域内的最优值, 并进入步骤 S28;

[0126] S28、判断 i 是否大于等于 f , 若是, 则边的所有边界点 (x_i, y_i, z_i) 在参数域内的最优均已找到, 否则, 令 $i = i+1$, 并返回步骤 S21。

[0127] 在步骤 S3 中, 根据功能面的边界离散点在参数域内的取值, 采用射线法对与其对应 NURBS 曲面进行裁剪得到面点云, 并将每个功能面的面点云转换到原有空间。

[0128] 在三维空间中直接裁剪曲面是困难的, 也不能遵循平面通过映射到二维空间域进行裁剪的方法。本方案通过将边界逆向映射到 NURBS 曲面的二维参数场, 可以实现 NURBS 曲面的裁剪。三维空间中的每一点对应于 NURBS 曲面的 u, v 参数。假设有一个点 $P(x, y, z)$, 可以用 BFGS 方法在参数域中近似其对应的参数 u_0 和 v_0 。

[0129] 采用射线法对与其对应 NURBS 曲面进行裁剪得到面点云的流程大体为: 图 4 是一个多边形填充的结果, 填充完以后需要判断填充的点是否在包围多边形内部, 采用射线法进行判断, 射线法的示意如图 4a 所示, 当多边形的边是一条曲线时, 可以将曲线近似看为图 4b 所示的多段直线构成的边。在射线法当中, 以需要判断的点为原点作射线, 当射线穿过的边是偶数时, 该点在多边形外部, 则抛弃该点, 如果为奇数则保留该点。那么如图 5a (图 5 中左侧视图) 所示图形经过射线法裁剪后的最终结果如图 5b (图 5 中右侧视图) 所示。

[0130] 图 6 示出了面点云裁剪的流程图, 其中第一个子图是原始三维空间当中的面点云, 第二个子图转换参数域后, 面点云上每个点在参数域当中对应的参数点, 第三个子图是三维空间当中边界点通过拟牛顿法在参数域当中找到的对应参数点边界, 第四个子图参数域点云通过射线法得到示意图, 第五个子图是从二维空间转换至原有空间的示意图。

[0131] 在步骤 S4 中, 采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标, 计算功能面的面点云到局部坐标系的 z 轴所在平面的距离:

$$[0132] \quad L_I = \frac{|m_I p_z * n|}{|n|}$$

[0133] 其中, m_I 为功能面上第 I 个离散点; p_z 为 z 轴所在平面上任意一点, n 为法向。

[0134] 实施时, 本方案优选采用主成分分析法获取每个功能面的局部坐标系的方法包括:

[0135] 根据功能面上的面点云, 计算特征值:

$$[0136] \quad \overline{X}_{\text{点}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M X_{\text{点}I}, \quad \overline{Y}_{\text{点}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M Y_{\text{点}I}$$

$$[0137] \quad h_{\text{特}} = \frac{1}{M} \sum_{I=1}^M (X_{\text{点}I} - \overline{X_{\text{点}}}) (Y_{\text{点}I} - \overline{Y_{\text{点}}})^T, \quad h = UHV^T$$

[0138] 其中, $\overline{X_{\text{点}}}$ 和 $\overline{Y_{\text{点}}}$ 分别为功能面上所有面点云X坐标值和Y坐标值的平均值; M为功能面上面点云的总个数; $X_{\text{点}I}$ 和 $Y_{\text{点}I}$ 分别为功能面上第I个面点云的X坐标值和Y坐标值; $h_{\text{特}}$ 为特征矩阵; U和V均为特征矩阵, H为特征值;

[0139] 对 $h_{\text{特}}$ 进行特征分解, 分解后将特征值按由大到小排列构成的特征向量组成一个三维矩阵, 三维矩阵代表三个主轴矩阵, 得到局部坐标系。

[0140] S5、根据功能面的距离, 确定功能面的类型; 根据任意两个功能面之间的关系, 确定功能面与邻面是否垂直;

[0141] 实施时, 本方案优选根据功能面的距离, 确定功能面的类型的方法包括:

[0142] 选取每个功能面对应的最大距离, 并判断最大距离是否大于预设阈值, 若是, 则功能面的类型为曲面, 否则功能面的类型为平面。

[0143] 根据任意两个功能面之间的关系, 确定功能面与邻面是否垂直的方法包括:

[0144] B1、判断任意两个功能面是否具有共同的起点和终点, 若是进入步骤B2, 否则标记功能面与邻面不垂直;

[0145] B2、判断两个功能面对应的法线是否相互垂直, 若是, 则标记功能面与邻面垂直; 否则标记功能面与邻面不垂直。

[0146] 下面以两个功能面A和功能面B为例对与邻面是否垂直进行说明, 若功能面A和功能面B两个面垂直, 对于功能面A, 则标记功能面A与邻面功能面B垂直, 对于功能面B, 则标记功能面B与邻面功能面A垂直, 不垂直的标记方式类似, 此处就不再赘述。

[0147] S6、读取法向穿过面的数量及STEP文件中功能面的边界类型, 并将边界类型、面类型、与邻面是否垂直和法向穿过面的数量输入朴素贝叶斯分类器, 计算功能面属于每个类别的概率, 得到功能面类型。

[0148] 其中朴素贝叶斯分类器为:

$$[0149] \quad p(f = f_i | pro_1, \dots, pro_4) = \frac{p(f_i) p(pro_1, \dots, pro_4 | f = f_i)}{p(pro_1, \dots, pro_4)}$$

[0150] 其中, f代表的是类别, pro为属性。

[0151] 实施时, 本方案优选功能面的法向穿过面的数量的获取方法包括:

[0152] 采用主成分分析法获取功能面法向为z轴的局部坐标系, 并在功能面上任意选取一个点 $P_{\text{法}}$, 并通过公式 $R_p - R_o$ 得到点 $P_{\text{法}}$ 在二维坐标系下的坐标;

[0153] 采用射线法确定点 $P_{\text{法}}$ 穿过面的数量, 作为功能面的法向穿过面的数量。

[0154] 本方案中功能面的类型包括翻边面、R角、圆孔和长圆孔。朴素贝叶斯分类器的训练数据集当中总共选取了车身的87种零件。

[0155] 综上所述, 本方案所提出的技术方案能有效解决不同软件制作的模型的统一表达, 从各类CAD模型共有的低级几何特征中识别出与设计意图和制造过程相关的加工特征。

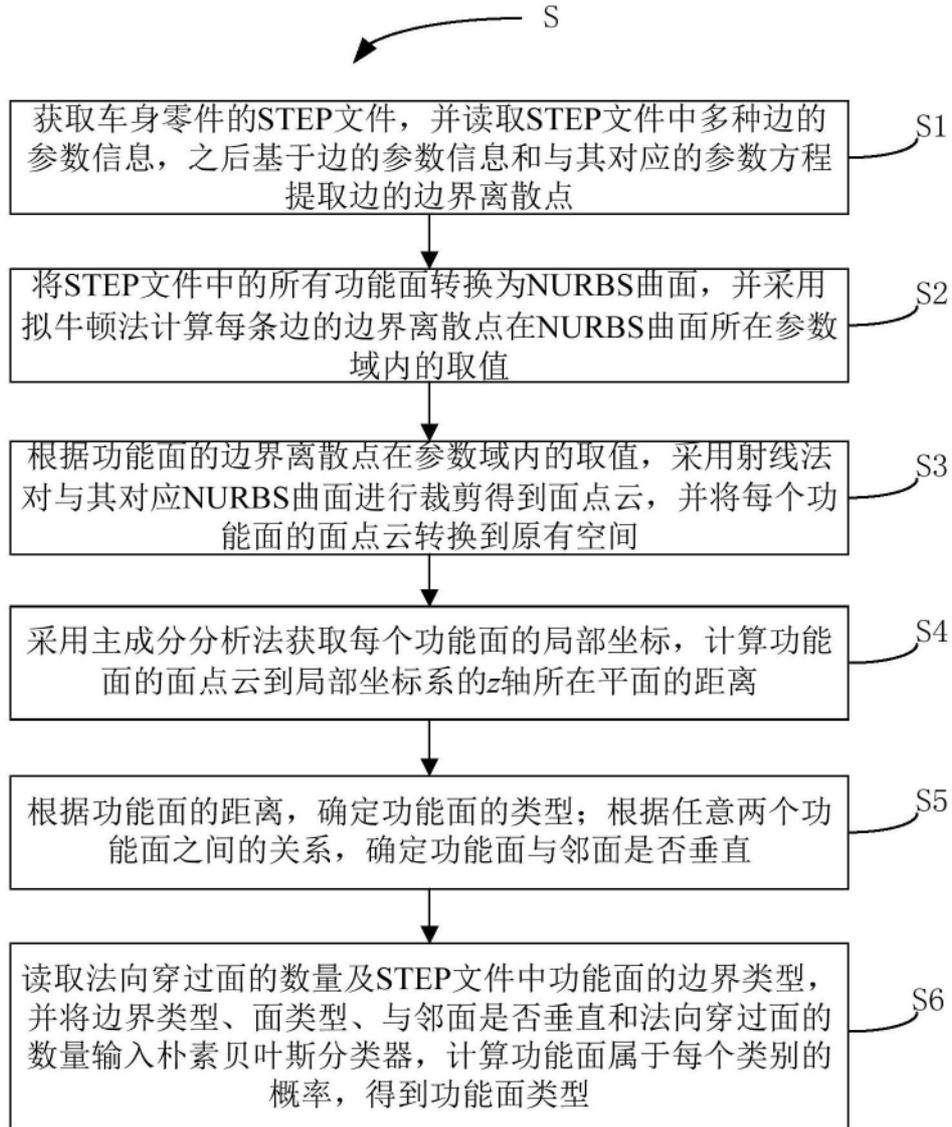


图1

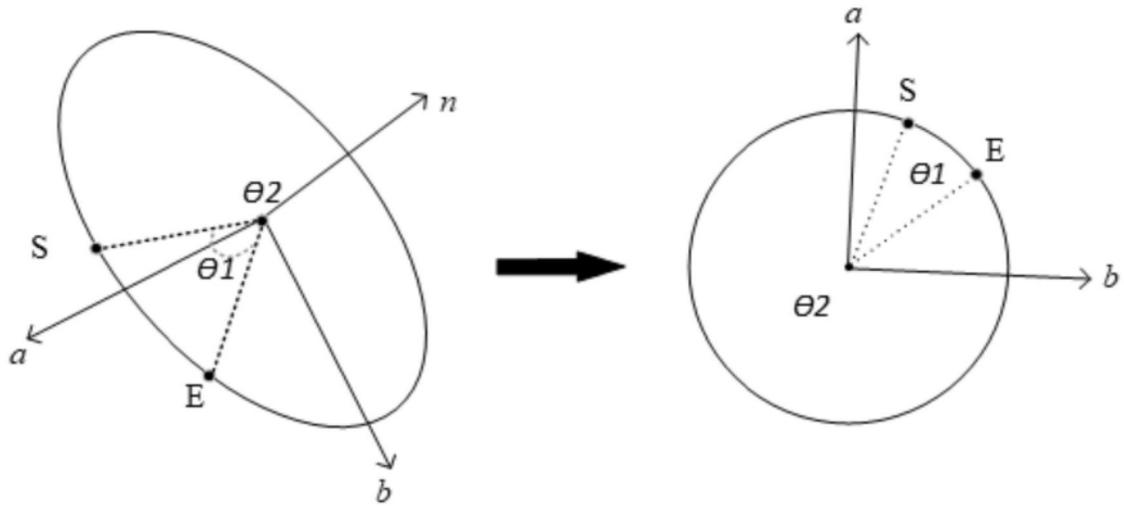


图2

```
#167=ADVANCED_FACE('#Final Design',(#166),#77,.F.) ;  
#255=ADVANCED_FACE('#Final Design',(#254),#168,.T.) ;  
#272=ADVANCED_FACE('#Final Design',(#271),#260,.T.) ;
```

图3

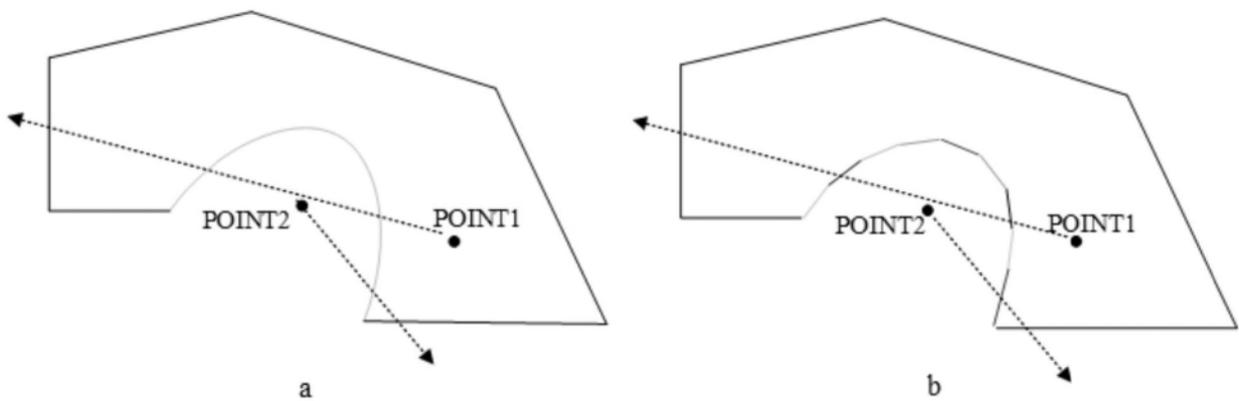


图4

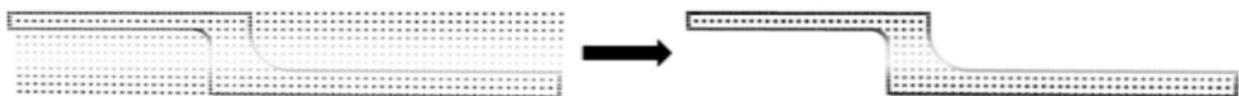


图5

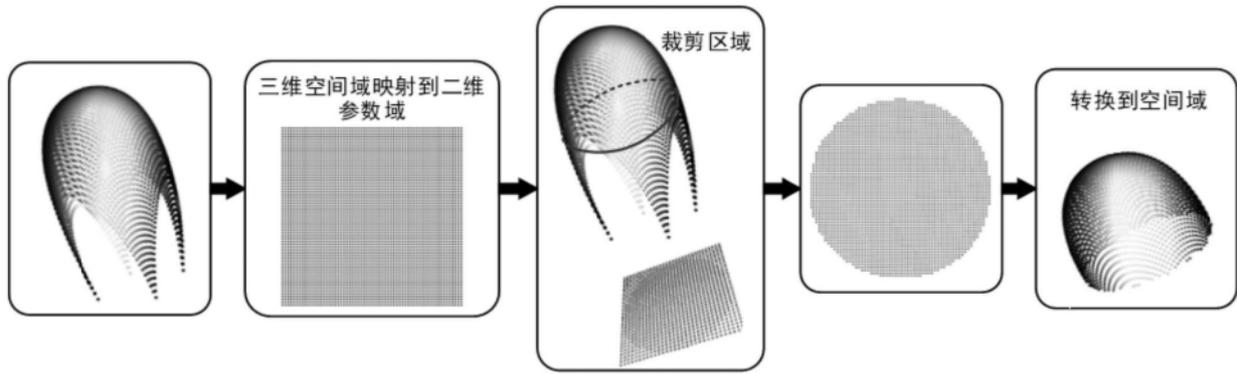


图6