



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115239877 B

(45) 授权公告日 2023.05.09

(21) 申请号 202210793839.X

G06V 10/74 (2022.01)

(22) 申请日 2022.07.07

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110070096 A, 2019.07.30

申请公布号 CN 115239877 A

审查员 邓迪

(43) 申请公布日 2022.10.25

(73) 专利权人 青海师范大学

地址 810000 青海省西宁市城西区五四西路38号

(72) 发明人 张丹 武仲科 王醒策 刘娜

(74) 专利代理机构 北京细软智谷知识产权代理有限公司 11471

专利代理师 赵越

(51) Int. Cl.

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 19/20 (2011.01)

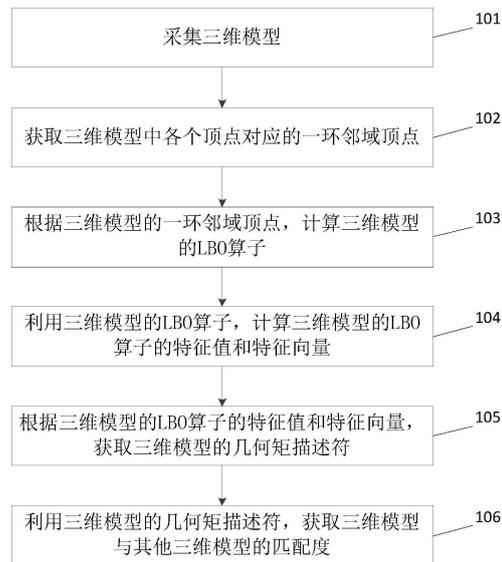
权利要求书3页 说明书16页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法

(57) 摘要

本发明属于计算机图形学技术领域,具体涉及一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,该方法包括:采集三维模型;获取三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点;根据三维模型的一环邻域顶点,计算三维模型的LBO算子;利用三维模型的LBO算子,计算三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取三维模型六个的几何矩描述符;利用三维模型的六个几何矩描述符,获取三维模型与其他三维模型的匹配度。本申请提供的技术方案,不仅实现了无需依赖参数的选择,便能很好地描述和表示各种形状的拓扑和几何特征,具备普适性,而且增强了谱形状描述子的识别能力,降低了形状匹配的时间复杂度。



1. 一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,其特征在于,所述方法包括:
 采集三维模型;
 获取所述三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点;
 根据所述三维模型的一环邻域顶点,计算所述三维模型的LBO算子;
 利用所述三维模型的LBO算子,计算所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;
 根据所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取所述三维模型的六个几何矩描述符;包括:

步骤a:根据所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,计算所述三维模型中顶点的谱形状描述符,以及计算所述三维模型中每个顶点的对应的一环邻域顶点的谱形状描述符;

利用所述三维模型的六个几何矩描述符,获取所述三维模型与其他三维模型的匹配度;

其中,所述步骤a,包括:

按下式确定所述三维模型中第*i*个顶点的谱形状描述符 Φ_i :

$$\Phi_i = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

按下式确定所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点的谱形状描述符 Φ_j :

$$\Phi_j = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

上式中, $i \in [1, n]$, n 为所述三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; λ_k 为所述三维模型的LBO算子的第*k*个特征值, φ_k 为所述三维模型的LBO算子的第*k*个特征值对应的特征向量, $\phi(\lambda_k)$ 为滤波函数;

其中,当所述谱形状描述符为热核签名或尺度不变热核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-\lambda_k \cdot t}$, t 为时间参数;

当所述谱形状描述符为波核签名或尺度不变热核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-i \cdot \lambda_k \cdot t}$, i 为虚数*i*。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述三维模型包括:多个顶点,每个所述顶点均有与其对应的序号。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取所述三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点,包括:

在所述三维模型中,与所述三维模型中的顶点直接相连接的顶点,为所述三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点;

基于所述三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点对应的序号,对所述三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点进行升序排序。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述三维模型的一环邻域顶点,计算所述三维模型的LBO算子,包括:

按下式计算所述三维模型中第*i*个顶点对应的离散LBO算子:

$$LB(f(v_i)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) \cdot |f(v_i) - f(N_j)|$$

上式中, $i \in [1, n]$, n 为所述三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; v_i 为所述三维模型中第*i*个顶点, $f(v_i)$ 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的实值函数的值, N_j 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点, $f(N_j)$ 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点对应的实值函数的值; 令连接所述三维模型中第*i*个顶点 v_i 和所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点 N_j 的线段为 p_{ij} , 则 α_j 和 β_j 分别为边 p_{ij} 两侧的对角;

所述三维模型中所有顶点对应的离散LBO算子, 构成所述三维模型的LBO算子。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述三维模型的LBO算子, 获取所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量, 包括:

对所述三维模型的LBO算子进行谱分解, 得到所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;

其中, 按下式确定所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量:

$$\Delta M \cdot \varphi_k = \lambda_k \cdot \varphi_k$$

上式中, $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; ΔM 为所述三维模型的LBO算子, λ_k 为所述三维模型的LBO算子的第*k*个特征值, φ_k 为所述三维模型的LBO算子的第*k*个特征值对应的特征向量。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量, 获取所述三维模型的六个几何矩描述符, 还包括:

步骤b: 根据所述三维模型中顶点的谱形状描述符和所述三维模型中每个顶点的对应的一环邻域顶点的谱形状描述符, 计算所述三维模型的六个几何矩描述符; 其中, 所述三维模型的六个几何矩描述符包括: 一阶时间矩 μ_{01} 、二阶时间矩 μ_{02} 、三阶时间矩 μ_{03} 、一阶空间矩 μ_{11} 、三阶空间矩 μ_{12} 和三阶空间矩 μ_{21} ;

步骤c: 按下式确定所述三维模型的六个几何矩描述符GMSDs:

$$\text{GMSDs} = \{\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{21}\}。$$

7. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 所述步骤b, 包括:

按下式确定一阶时间矩 μ_{01} :

$$\mu_{01} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i$$

按下式确定二阶时间矩 μ_{02} :

$$\mu_{02} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^2$$

按下式确定三阶时间矩 μ_{03} :

$$\mu_{03} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^3}{(\sqrt{\mu_{02}(\Phi_i)})^3}$$

按下式确定一阶空间矩 μ_{11} :

$$\mu_{11} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)$$

按下式确定三阶空间矩 μ_{12} :

$$\mu_{12} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left[\Phi_j - \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right) \right]^2 \right\}$$

按下式确定三阶空间矩 μ_{21} :

$$\mu_{21} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\Phi_i - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)$$

上式中, $i \in [1, n]$, n 为所述三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为所述三维模型中第 i 个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; Φ_i 为所述三维模型中第 i 个顶点的谱形状描述符; Φ_j 为所述三维模型中第 i 个顶点对应的第 j 个一环邻域顶点的谱形状描述符。

8. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述利用所述三维模型的六个几何矩描述符, 获取所述三维模型与其他三维模型的匹配度, 包括:

令所述三维模型中的所有顶点构成的集合为集合A, 所述其他三维模型中的所有顶点构成的集合为集合B;

按下式确定所述三维模型与其他三维模型的匹配度MHD(A, B):

$$\text{MHD}(A, B) = \max[d(A, B), d(B, A)]$$

上式中, $d(A, B)$ 为集合A中的每个顶点 v_a 与集合B中的每个顶点 v_b 的距离最小值的均值; $d(B, A)$ 为集合B中的各个顶点 v_b 与集合A中的每个顶点 v_a 的距离最小值的均值;

其中, 按下式确定 $d(A, B)$:

$$d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|v_a - v_b\|$$

按下式确定 $d(B, A)$:

$$d(B, A) = \frac{1}{N_B} \sum_{b \in B} \min_{a \in A} \|v_b - v_a\|$$

上式中, $a \in [1, N_A]$, N_A 为集合A中顶点的总数量; $b \in [1, N_B]$, N_B 为集合B中顶点的总数量; $\|v_a - v_b\|$ 为集合A中顶点 v_a 到集合B中顶点 v_b 的欧氏距离, $\|v_b - v_a\|$ 为集合B中顶点 v_b 到集合A中顶点 v_a 的欧氏距离。

一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法

[0001] 技术邻域

[0002] 本发明属于计算机图形学技术领域,具体涉及一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法。

背景技术

[0003] 三维形状匹配作为计算机视觉、模式识别、计算机图形学等邻域的热点研究问题,引起了研究者的广泛关注,三维形状匹配是形状识别、形状检索、形状分类、形状分割等工作的研究基础。同时,非刚性形状匹配也为形状插值、统计建模、三维重建、生物计算等应用领域提供了坚实的理论依据。三维形状匹配研究的是三维形状相似度度量问题,其具体步骤为:首先,研究者在三维形状上提取一系列有意义的特征用于描述三维形状的几何特征和拓扑结构;然后选择三维形状的局部特征、全局特征或者两者的结合代替待对应的三维形状;最后选择某种度量函数计算三维形状相似度,基于相似度结果进行三维形状分析。可将其概括为两个关键步骤:(1)提取形状上有效的形状描述符;(2)选择合适的相似度度量。

[0004] 在现有的基于谱形状描述符的三维形状分析任务中,一般利用单个时间参数(例如,热核签名、尺度不变热核签名)和能量参数(例如,波核签名、尺度不变波核签名)的经验值作为单参数点签名描述符来进行三维形状匹配计算,或者选择若干个时间参数或能量参数的序列作为多参数点签名描述符序列来进行三维形状匹配计算。但以上两种方法各有缺点:第一种方法只能单独描述形状的局部属性或全局属性,而且经验值通常只适用于某类形状或者某种特定形状分析任务,不具有普适性;第二种参数选择方法通过引入参数序列将单个点签名扩展为点签名向量,相较于第一种方法扩大了对形状特征的描述能力,但该方法的时间复杂度较高,尤其是当参数序列过长,会导致进行形状匹配的时间复杂度呈指数增长。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,以解决现有技术中不具有普适性,以及时间复杂度较高导致进行形状匹配的时间复杂度呈指数增长的问题。

[0006] 根据本申请实施例的第一方面,提供一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,所述方法包括:

[0007] 采集三维模型;

[0008] 获取所述三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点;

[0009] 根据所述三维模型的一环邻域顶点,计算所述三维模型的LB0算子;

[0010] 利用所述三维模型的LB0算子,计算所述三维模型的LB0算子的特征值和特征向量;

[0011] 根据所述三维模型的LB0算子的特征值和特征向量,获取所述三维模型的六个几何矩描述符;

[0012] 利用所述三维模型的六个几何矩描述符,获取所述三维模型与其他三维模型的匹配度。

[0013] 优选的,所述三维模型包括:多个顶点,每个所述顶点均有与其对应的序号。

[0014] 优选的,所述获取所述三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点,包括:

[0015] 在所述三维模型中,与所述三维模型中的顶点直接相连接的顶点,为所述三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点;

[0016] 基于所述三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点对应的序号,对所述三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点进行升序排序。

[0017] 优选的,所述根据所述三维模型的一环邻域顶点,计算所述三维模型的LBO算子,包括:

[0018] 按下式计算所述三维模型中第*i*个顶点对应的离散LBO算子:

$$[0019] \quad LB(f(v_i)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) \cdot |f(v_i) - f(N_j)|$$

[0020] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为所述三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; v_i 为所述三维模型中第*i*个顶点, $f(v_i)$ 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的实值函数的值, N_j 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点, $f(N_j)$ 为所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点对应的实值函数的值;令连接所述三维模型中第*i*个顶点 v_i 和所述三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点 N_j 的线段为 p_{ij} ,则 α_j 和 β_j 分别为边 p_{ij} 两侧的对角;

[0021] 所述三维模型中所有顶点对应的离散LBO算子,构成所述三维模型的LBO算子。

[0022] 优选的,所述根据所述三维模型的LBO算子,获取所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,包括:

[0023] 对所述三维模型的LBO算子进行谱分解,得到所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;

[0024] 其中,按下式确定所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量:

$$[0025] \quad \Delta M \cdot \varphi_k = \lambda_k \cdot \varphi_k$$

[0026] 上式中, $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; ΔM 为所述三维模型的LBO算子, λ_k 为所述三维模型的LBO算子的第*k*个特征值, φ_k 为所述三维模型的LBO算子的第*k*个特征值对应的特征向量。

[0027] 优选的,所述根据所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取所述三维模型的六个几何矩描述符,包括:

[0028] 步骤a:根据所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,计算所述三维模型中顶点的谱形状描述符,以及计算所述三维模型中每个顶点对应的一环邻域顶点的谱形状描述符;

[0029] 步骤b:根据所述三维模型中顶点的谱形状描述符和所述三维模型中每个顶点对应的一环邻域顶点的谱形状描述符,计算一阶时间矩 μ_{01} 、二阶时间矩 μ_{02} 、三阶时间矩 μ_{03} 、一阶空间矩 μ_{11} 、三阶空间矩 μ_{12} 和三阶空间矩 μ_{21} ;

[0030] 步骤c:按下式确定所述三维模型的六个几何矩描述符GMSDs:

[0031] $GMSDs = \{\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{21}\}$ 。

[0032] 优选的,所述步骤a,包括:

[0033] 按下式确定所述三维模型中第i个顶点的谱形状描述符 Φ_i :

$$[0034] \quad \Phi_i = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

[0035] 按下式确定所述三维模型中第i个顶点对应的第j个一环邻域顶点的谱形状描述符 Φ_j :

$$[0036] \quad \Phi_j = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

[0037] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为所述三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为所述三维模型中第i个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; λ_k 为所述三维模型的LBO算子的第k个特征值, φ_k 为所述三维模型的LBO算子的第k个特征值对应的特征向量, $\phi(\lambda_k)$ 为滤波函数;

[0038] 其中,当所述谱形状描述符为热核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-\lambda_k t}$, t 为时间参数;

[0039] 当所述谱形状描述符为波核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-i \cdot \lambda_k t}$, i 为虚数 i 。

[0040] 优选的,所述步骤b,包括:

[0041] 按下式确定一阶时间矩 μ_{01} :

$$[0042] \quad \mu_{01} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i$$

[0043] 按下式确定二阶时间矩 μ_{02} :

$$[0044] \quad \mu_{02} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^2$$

[0045] 按下式确定三阶时间矩 μ_{03} :

$$[0046] \quad \mu_{03} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^3}{(\sqrt{\mu_{02}(\Phi_i)})^3}$$

[0047] 按下式确定一阶空间矩 μ_{11} :

$$[0048] \quad \mu_{11} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)$$

[0049] 按下式确定三阶空间矩 μ_{12} :

$$[0050] \quad \mu_{12} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left[\Phi_j - \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right) \right]^2 \right\}$$

[0051] 按下式确定三阶空间矩 μ_{21} ：

$$[0052] \quad \mu_{21} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\Phi_i - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)^2$$

[0053] 上式中， $i \in [1, n]$ ， n 为所述三维模型中的顶点的总数量； $j \in [1, m]$ ， m 为所述三维模型中第 i 个顶点对应的一环邻域顶点的总数量； Φ_i 为所述三维模型中第 i 个顶点的谱形状描述符； Φ_j 为所述三维模型中第 i 个顶点对应的第 j 个一环邻域顶点的谱形状描述符。

[0054] 优选的，所述利用所述三维模型的六个几何矩描述符，获取所述三维模型与其他三维模型的匹配度，包括：

[0055] 令所述三维模型中的所有顶点构成的集合为集合A，所述其他三维模型中的所有顶点构成的集合为集合B；

[0056] 按下式确定所述三维模型与其他三维模型的匹配度MHD(A, B)：

$$[0057] \quad \text{MHD}(A, B) = \max[d(A, B), d(B, A)]$$

[0058] 上式中， $d(A, B)$ 为集合A中的每个顶点 v_a 与集合B中的每个顶点 v_b 的距离最小值的均值； $d(B, A)$ 为集合B中的各个顶点 v_b 与集合A中的每个顶点 v_a 的距离最小值的均值；

[0059] 其中，按下式确定 $d(A, B)$ ：

$$[0060] \quad d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|v_a - v_b\|$$

[0061] 按下式确定 $d(B, A)$ ：

$$[0062] \quad d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|v_b - v_a\|$$

[0063] 上式中， $a \in [1, N_A]$ ， N_A 为集合A中顶点的总数量； $b \in [1, N_B]$ ， N_B 为集合B中顶点的总数量； $\|v_a - v_b\|$ 为集合A中顶点 v_a 到集合B中顶点 v_b 的欧氏距离， $\|v_b - v_a\|$ 为集合B中顶点 v_b 到集合A中顶点 v_a 的欧氏距离。

[0064] 本发明采用以上技术方案，能够达到的有益效果包括：通过采集三维模型，获取所述三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点，根据所述三维模型的一环邻域顶点，计算所述三维模型的LBO算子，利用所述三维模型的LBO算子，计算所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量，根据所述三维模型的LBO算子的特征值和特征向量，获取所述三维模型的六个几何矩描述符，利用所述三维模型的六个几何矩描述符，获取所述三维模型与其他三维模型的匹配度，不仅实现了无需依赖参数的选择，便能很好地描述和表示各种形状的拓扑和几何特征，具备普适性，而且增强了谱形状描述子的识别能力，降低了形状匹配的时间复杂度。

附图说明

[0065] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现

有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0066] 图1是根据一示例性实施例示出的一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法的流程图;

[0067] 图2是根据一示例性实施例示出的一种三维模型的示意图;

[0068] 图3是根据一示例性实施例示出的一种三维模型的示意图;

[0069] 图4是根据一示例性实施例示出的一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配装置的框图;

[0070] 图中,1-采集模块,2-第一获取模块,3-第一计算模块,4-第二计算模块,5-第二获取模块,6-第三获取模块,51-第一计算单元,52-第二计算单元,53-确定单元。

具体实施方式

[0071] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明的技术方案进行详细的描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所得到的所有其它实施方式,都属于本发明所保护的范围。

[0072] 实施例一

[0073] 图1是根据一示例性实施例示出的一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法的流程图,如图1所示,该方法可以但不限于用于终端中,包括以下步骤:

[0074] 步骤101:采集三维模型;

[0075] 步骤102:获取三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点;

[0076] 步骤103:根据三维模型的一环邻域顶点,计算三维模型的LBO算子;

[0077] 步骤104:利用三维模型的LBO算子,计算三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;

[0078] 步骤105:根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取三维模型的六个几何矩描述符;

[0079] 步骤106:利用三维模型的六个几何矩描述符,获取三维模型与其他三维模型的匹配度。

[0080] 具体的,三维模型包括:多个顶点,每个顶点均有与其对应的序号。

[0081] 需要说明的是,本申请所采集的三维模型为进行三角剖分后的三维模型。如图2所示,进行三角剖分后,三维模型由各个三角形面片组成,每个三角形面片上的顶点即为三维模型的顶点。每个顶点均有与其对应的一个唯一的序号,例如,某个三维模型包括100个顶点,则这100个顶点的序号为1-100。

[0082] 本发明实施例提供一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,通过采集三维模型,获取三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点,根据三维模型的一环邻域顶点,计算三维模型的LBO算子,利用三维模型的LBO算子,计算三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取三维模型的六个几何矩描述符,利用三维模型的六个几何矩描述符,获取三维模型与其他三维模型的匹配度,不仅

实现了无需依赖参数的选择,便能很好地描述和表示各种形状的拓扑和几何特征,具备普适性,而且增强了谱形状描述子的识别能力,降低了形状匹配的时间复杂度。

[0083] 进一步的,步骤102,包括:

[0084] 步骤1021:在三维模型中,与三维模型中的顶点直接相连接的顶点,为三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点;

[0085] 例如,如图3所示, v_i 为三维模型中第*i*个顶点, N_j 为三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点;

[0086] 步骤1022:基于三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点对应的序号,对三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点进行升序排序。

[0087] 可以理解的是,通过对一环邻域顶点进行升序排序,可以避免后续利用一环邻域顶点计算三维模型的LBO算子时混乱,从而提升三维模型的LBO算子的可靠性和准确性。

[0088] 进一步的,步骤103,包括:

[0089] 按下式计算三维模型中第*i*个顶点对应的离散LBO算子:

$$[0090] \quad LB(f(v_i)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) \cdot |f(v_i) - f(N_j)|$$

[0091] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为三维模型中第*i*个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; v_i 为三维模型中第*i*个顶点, $f(v_i)$ 为三维模型中第*i*个顶点对应的实值函数的值, N_j 为三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点, $f(N_j)$ 为三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点对应的实值函数的值;令连接三维模型中第*i*个顶点 v_i 和三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点 N_j 的线段为 p_{ij} ,则 α_j 和 β_j 分别为边 p_{ij} 两侧的对角;

[0092] 三维模型中所有顶点对应的离散LBO算子,构成三维模型的LBO算子。

[0093] 例如,如图3所示,连接三维模型中第*i*个顶点 v_i 和三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点 N_j 的线段为 p_{ij} , α_j 和 β_j 分别为边 p_{ij} 两侧的对角。

[0094] 需要说明的是,由于LBO算子是半正定算子,所以LBO算子可以解析地计算一些形状几何量(例如,矩形、圆柱、圆盘或球面等)。如果一些形状,如动物和植物等,变换其形体姿态,例如在其关节处只有轻微的拉伸,这种情况被称为近似等距变化,LBO算子同样对近似等距不变。因此,LBO算子适用性广,从而为获取三维模型的六个几何矩描述符的普适性奠定了基础。

[0095] 进一步的,步骤104,包括:

[0096] 对三维模型的LBO算子进行谱分解,得到三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;

[0097] 其中,按下式确定三维模型的LBO算子的特征值和特征向量:

$$[0098] \quad \Delta M \cdot \varphi_k = \lambda_k \cdot \varphi_k$$

[0099] 上式中, $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; ΔM 为三维模型的LBO算子, λ_k 为三维模型的LBO算子的第*k*个特征值, φ_k 为三维模型的LBO算子的第*k*个特征值对应的特征向量。

[0100] 需要说明的是,本发明实施例中涉及的“谱分解”方式,是本领域技术人员所熟知的,因此,其具体实现方式不做过多描述。

[0101] 可以理解的是,通过对三维模型的LBO算子进行谱分解,得到的特征值和特征向量,提高了后续计算三维模型的六个几何矩描述符的效率。

[0102] 进一步的,步骤105,包括:

[0103] 步骤1051:根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,计算三维模型中顶点的谱形状描述符,以及计算三维模型中每个顶点的对应的一环邻域顶点的谱形状描述符;

[0104] 具体的,步骤1052,包括:

[0105] 按下式确定三维模型中第*i*个顶点的谱形状描述符 Φ_i :

$$[0106] \quad \Phi_i = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

[0107] 按下式确定三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点的谱形状描述符 Φ_j :

$$[0108] \quad \Phi_j = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

[0109] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为三维模型中第*i*个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; λ_k 为三维模型的LBO算子的第*k*个特征值, φ_k 为三维模型的LBO算子的第*k*个特征值对应的特征向量, $\phi(\lambda_k)$ 为滤波函数;

[0110] 其中,当谱形状描述符为热核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-\lambda_k \cdot t}$, t 为时间参数;

[0111] 当谱形状描述符为波核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-i \cdot \lambda_k \cdot t}$, i 为虚数

[0112] 步骤1052:根据三维模型中顶点的谱形状描述符和三维模型中每个顶点的对应的一环邻域顶点的谱形状描述符,计算一阶时间矩 μ_{01} 、二阶时间矩 μ_{02} 、三阶时间矩 μ_{03} 、一阶空间矩 μ_{11} 、三阶空间矩 μ_{12} 和三阶空间矩 μ_{21} ;

[0113] 具体的,步骤1052,包括:

[0114] 按下式确定一阶时间矩 μ_{01} :

$$[0115] \quad \mu_{01} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i$$

[0116] 按下式确定二阶时间矩 μ_{02} :

$$[0117] \quad \mu_{02} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^2$$

[0118] 按下式确定三阶时间矩 μ_{03} :

$$[0119] \quad \mu_{03} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^3}{(\sqrt{\mu_{02}(\Phi_i)})^3}$$

[0120] 按下式确定一阶空间矩 μ_{11} ：

$$[0121] \quad \mu_{11} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)$$

[0122] 按下式确定三阶空间矩 μ_{12} ：

$$[0123] \quad \mu_{12} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left[\Phi_j - \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right) \right]^2 \right\}$$

[0124] 按下式确定三阶空间矩 μ_{21} ：

$$[0125] \quad \mu_{21} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\Phi_i - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)^2$$

[0126] 上式中， $i \in [1, n]$ ， n 为三维模型中的顶点的总数量； $j \in [1, m]$ ， m 为三维模型中第 i 个顶点对应的一环邻域顶点的总数量； Φ_i 为三维模型中第 i 个顶点的谱形状描述符； Φ_j 为三维模型中第 i 个顶点对应的第 j 个一环邻域顶点的谱形状描述符；

[0127] 步骤1053：按下式确定三维模型的六个几何矩描述符GMSDs：

$$[0128] \quad \text{GMSDs} = \{\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{21}\}。$$

[0129] 需要说明的是，矩在不同的应用场景中有不同的名称，用于描述图像或形状的几何特征时被称为几何不变矩，简称几何矩。基于几何矩的形状描述符独立于参数的选择，能够捕捉到图像或形状的显著特征，可以作为一个重要的特征来表示物体。通过利用几何矩描述符，不但能很好地描述和表示形状的拓扑和几何特征；同时参数选择独立于特定形状分析任务，具有通用性；换句话说，该描述符的性能不依赖参数的选择。通过计算谱形状描述符在时间域内的几何矩，并同时考虑了在空间域和时间域联合作用下的条件矩定义了一种新的形状描述符，称为几何矩谱描述符(Geometric moment spectral descriptors, GMSDs)。GMSDs不仅继承了谱形状描述符的优良特性，克服了谱形状描述符对参数选择敏感的缺点，而且具有几何矩理论的统计特性，非常适合三维形状分析。

[0130] 进一步的，步骤106，包括：

[0131] 令三维模型中的所有顶点构成的集合为集合A，其他三维模型中的所有顶点构成的集合为集合B；

[0132] 按下式确定三维模型与其他三维模型的匹配度MHD(A, B)：

$$[0133] \quad \text{MHD}(A, B) = \max[d(A, B), d(B, A)]$$

[0134] 上式中， $d(A, B)$ 为集合A中的每个顶点 v_a 与集合B中的每个顶点 v_b 的距离最小值的均值； $d(B, A)$ 为集合B中的各个顶点 v_b 与集合A中的每个顶点 v_a 的距离最小值的均值；

[0135] 其中，按下式确定 $d(A, B)$ ：

$$[0136] \quad d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|v_a - v_b\|$$

[0137] 按下式确定 $d(B, A)$ ：

$$[0138] \quad d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|v_b - v_a\|$$

[0139] 上式中, $a \in [1, N_A]$, N_A 为集合A中顶点的总数量; $b \in [1, N_B]$, N_B 为集合B中顶点的总数量; $\|v_a - v_b\|$ 为集合A中顶点 v_a 到集合B中顶点 v_b 的欧氏距离, $\|v_b - v_a\|$ 为集合B中顶点 v_b 到集合A中顶点 v_a 的欧氏距离。

[0140] 需要说明的是, 本发明实施例提供的计算三维模型与其他三维模型的匹配度, 采用的是修正Hausdorff距离的计算方法。通过基于一对三维模型的GMSDs之间的修正Hausdorff距离, 来定义三维模型的相似性, 具有足够的鲁棒性和稳定性。

[0141] 为进一步说明本发明实施例提供的一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法的技术效果, 本发明通过使用TOSCA高分辨率数据库和SHREC2010query数据库进行实验, 它们为非刚性三维形状分析提供了大量的三维形状。本发明通过几个实验比较了不同GMSDs描述符的鲁棒性和高效性。选取SHREC2010query数据库, 对比了GMSDs的等距不变性、拓扑鲁棒性、缩放不变性、加洞鲁棒性和噪声鲁棒性。本发明对于HKS和WKS分别进行了讨论, 在实验中, 关于HKS的几何矩谱描述符表示为GMSDs (HKS), 6个几何矩表示为: $\mu 01$ (HKS)、 $\mu 02$ (HKS)、 $\mu 03$ (HKS)、 $\mu 11$ (HKS)、 $\mu 12$ (HKS)、 $\mu 21$ (HKS); 关于WKS的几何矩谱描述符表示为GMSDs (WKS), 6个几何矩表示为: $\mu 01$ (WKS)、 $\mu 02$ (WKS)、 $\mu 03$ (WKS)、 $\mu 11$ (WKS)、 $\mu 12$ (WKS)、 $\mu 21$ (WKS)。

[0142] 表1至表5分别显示了GMSDs (HKS) 的原始形状和变形形状(包括等距、拓扑、加洞、有噪声以及重采样)之间GMSDs (HKS) 的不变性和鲁棒性数值。表6至表9显示了GMSDs (WKS) 的原始形状和可变形形状(包括等距、拓扑、加洞、有噪声以及重采样)之间GMSDs (WKS) 的不变性和鲁棒性数值。在上述结果中, 对于GMSDs (HKS) 和GMSDs (WKS) 有着同样的结果: 在不同的变换下, 6个几何矩都具有较好的鲁棒性, $\mu 03$ 的误差值都最小, 说明 $\mu 03$ 的鲁棒性优于其他五个几何矩, 这是因为 $\mu 03$ 描述了不同谱形状描述符在参数序列下的非对称程度, 由于HKS和WKS的多尺度特性呈线性变换, 因此谱形状描述符相对于其期望的偏斜程度较低; 而 $\mu 12$ 误差较大, 说明 $\mu 12$ 的鲁棒性弱于其他五个几何矩, 这是因为 $\mu 12$ 是条件矩, 描述了表面上任意顶点的一环邻域顶点的条件期望, 这里的条件由邻域顶点的谱形状描述符的方差表示, 描述了不同参数下谱形状描述符与期望的离散程度, 该值相对变化较大。总体而言, GMSDs (WKS) 在不同变换后的鲁棒性误差值小于GMSDs (HKS)。

[0143] 表1 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (HKS) 等距不变性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
$\mu 01$ (HKS)	0.0310	0.0523	0.0398	0.0237	0.0262	0.0412	0.0418	0.3340	0.6451	0.0529	0.0647	0.1851	0.1281
$\mu 01$ (HKS)	0.0526	0.0713	0.0651	0.0231	0.0304	0.0424	0.0435	0.3962	0.7851	0.0680	0.0723	0.2182	0.1557
$\mu 03$ (HKS)	0.0474	0.0936	0.0778	0.0134	0.0159	0.0527	0.0176	0.1701	0.2097	0.0159	0.0241	0.2041	0.0785
$\mu 11$ (HKS)	0.0257	0.0473	0.0341	0.0199	0.0233	0.0374	0.0344	0.3175	0.5567	0.0375	0.0754	0.1807	0.1158
$\mu 12$ (HKS)	0.2828	0.1701	0.2049	0.2074	0.0603	0.0130	0.2155	1.0417	1.3663	0.4961	0.1490	0.7101	0.4098
$\mu 21$ (HKS)	0.0686	0.1038	0.0758	0.0355	0.0428	0.0452	0.1207	0.5676	1.3850	0.1430	0.2482	0.1985	0.2529

[0145] 表2 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (HKS) 拓扑鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
$\mu 01$ (HKS)	0.0529	0.1498	0.0613	0.0244	0.0326	0.0668	0.0246	0.3724	0.6572	0.0449	0.0370	0.2051	0.1441
$\mu 02$ (HKS)	0.0564	0.1257	0.0774	0.0246	0.0302	0.0717	0.0312	0.4071	0.7873	0.0210	0.0348	0.2297	0.1581
$\mu 03$ (HKS)	0.0592	0.1164	0.0771	0.0146	0.0181	0.0561	0.0183	0.1818	0.2042	0.0142	0.0171	0.2111	0.0823
$\mu 11$ (HKS)	0.0544	0.1472	0.0576	0.0224	0.2768	0.0657	0.0284	0.3575	0.5685	0.0310	0.0368	0.2012	0.1540
$\mu 12$ (HKS)	1.5041	0.1667	0.2608	0.3397	0.5397	0.0208	0.1609	1.0823	1.3767	0.1558	0.1350	0.7125	0.5379
$\mu 21$ (HKS)	0.0880	0.1730	0.1240	0.0455	0.1495	0.0823	0.1265	0.5963	1.3939	0.0505	0.0701	0.2151	0.2596

[0147] 表3 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (HKS) 加洞鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
$\mu 01$ (HKS)	0.0201	0.0897	0.0372	0.0320	0.5159	0.0410	0.5771	0.1405	0.0026	0.5934	0.5841	0.2582	0.2410
$\mu 02$ (HKS)	0.0239	0.0341	0.0847	0.0667	0.3173	0.0433	0.1813	0.4065	0.0027	0.0343	0.1987	0.5646	0.1632
$\mu 03$ (HKS)	0.0158	0.0278	0.0294	0.0384	0.0515	0.0171	0.0762	0.5833	0.0200	0.0253	0.0467	0.0721	0.0836
$\mu 11$ (HKS)	0.0247	0.0638	0.0224	0.0264	0.0411	0.0371	0.0344	0.5833	0.0017	0.0229	0.6827	0.1755	0.1430
$\mu 12$ (HKS)	0.0621	0.1579	0.1033	0.3526	0.3343	0.6330	0.1885	0.2714	0.1050	0.1388	0.1991	0.4064	0.2460
$\mu 21$ (HKS)	0.0712	0.2420	0.2600	0.0742	0.3008	0.0966	0.3074	0.4275	0.0199	0.0400	0.7319	0.1365	0.2257

[0149] 表4 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (HKS) 重采样鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
μ 01 (HKS)	0.030 9	0.056 7	0.038 9	0.023 7	0.033 3	0.043 9	0.038 8	0.332 1	0.645 8	0.045 3	0.067 8	0.185 5	0.1286
μ 02 (HKS)	0.054 9	0.091 8	0.063 8	0.026 3	0.032 9	0.042 6	0.039 2	0.392 8	0.780 3	0.024 9	0.071 4	0.219 0	0.1533
μ 03 (HKS)	0.048 4	0.093 6	0.076 8	0.013 7	0.014 5	0.052 4	0.015 7	0.169 0	0.209 2	0.016 7	0.016 0	0.204 3	0.0775
μ 11 (HKS)	0.024 7	0.048 6	0.033 8	0.019 3	0.031 5	0.040 4	0.036 9	0.351 3	0.557 8	0.030 2	0.075 3	0.362 3	0.1343
μ 12 (HKS)	0.292 3	0.290 7	0.198 5	0.234 9	0.067 5	0.027 7	0.197 4	0.891 1	1.351 9	0.216 8	0.137 5	1.613 9	0.4600
μ 21 (HKS)	0.068 1	0.110 0	0.075 8	0.047 1	0.055 2	0.046 4	0.135 5	0.367 8	1.385 0	0.069 8	0.240 7	0.375 1	0.2480

[0151] 表5 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (HKS) 噪声鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
μ 01 (HKS)	0.020 3	0.041 0	0.058 9	0.026 0	0.032 7	0.034 3	0.033 1	0.082 5	0.117 3	0.037 5	0.077 9	0.065 8	0.052 3
μ 02 (HKS)	0.020 3	0.041 0	0.058 9	0.038 8	0.036 8	0.034 3	0.038 0	0.082 5	0.117 3	0.036 2	0.108 8	0.065 8	0.056 5
μ 03 (HKS)	0.015 2	0.017 1	0.020 0	0.016 6	0.022 9	0.014 3	0.022 8	0.018 3	0.011 2	0.019 7	0.019 7	0.022 5	0.018 4
μ 11 (HKS)	0.020 2	0.047 9	0.045 4	0.023 3	0.037 9	0.040 1	0.029 8	0.052 4	0.084 6	0.022 8	0.088 8	0.049 8	0.045 2
μ 12 (HKS)	0.050 1	0.135 5	0.024 1	0.177 0	0.320 9	0.039 4	0.173 6	0.224 0	0.381 7	0.177 5	0.161 6	0.104 5	0.1642
μ 21 (HKS)	0.046 9	0.098 7	0.011 8	0.055 1	0.057 1	0.153 7	0.119 9	0.482 3	0.348 1	0.039 1	0.357 5	0.131 8	0.158 5

[0153] 表6 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (WKS) 等距不变性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
μ 01 (WKS)	0.017 4	0.036 1	0.037 0	0.023 7	0.026 2	0.030 8	0.041 8	0.077 7	0.646 5	0.052 9	0.064 7	0.060 2	0.092 9
μ 02 (WKS)	0.023 1	0.063 8	0.029 4	0.023 1	0.030 4	0.023 4	0.043 5	0.030 7	0.728 8	0.068 0	0.072 3	0.033 6	0.097 5
μ 03 (WKS)	0.013 4	0.015 5	0.014 5	0.013 4	0.015 9	0.013 0	0.017 6	0.017 2	0.119 9	0.015 9	0.024 1	0.027 1	0.025 6
μ 11 (WKS)	0.017 6	0.032 0	0.031 4	0.019 9	0.023 3	0.032 7	0.034 4	0.051 8	0.791 5	0.037 5	0.075 4	0.032 4	0.098 3
μ 12 (WKS)	0.103 1	0.142 2	0.046 3	0.207 4	0.060 3	0.015 2	0.215 5	0.163 3	1.744 7	0.496 1	0.149 0	0.112 2	0.2879
μ 21 (WKS)	0.039 0	0.108 4	0.050 3	0.035 5	0.042 8	0.059 0	0.120 7	0.048 4	0.309 3	0.143 0	0.248 2	0.056 0	0.105 0

[0155] 表7 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (WKS) 拓扑鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
$\mu 01$ (WKS)	0.044 6	0.032 7	0.425 6	0.024 4	0.032 6	0.026 9	0.024 6	0.065 2	0.969 2	0.044 9	0.037 0	0.071 2	0.149 9
$\mu 02$ (WKS)	0.027 3	0.060 0	0.354 8	0.024 6	0.030 2	0.032 8	0.031 2	0.041 6	0.103 4	0.021 0	0.034 8	0.041 6	0.066 9
$\mu 03$ (WKS)	0.013 3	0.014 7	0.137 8	0.014 6	0.018 1	0.015 3	0.018 3	0.014 7	0.107 0	0.021 0	0.017 1	0.024 7	0.034 7
$\mu 11$ (WKS)	0.028 9	0.031 3	0.345 8	0.022 4	0.276 8	0.034 1	0.028 4	0.046 0	0.098 5	0.014 2	0.036 8	0.042 2	0.083 8
$\mu 12$ (WKS)	0.164 5	0.128 2	0.578 5	0.339 7	0.335 4	0.158 7	0.160 9	0.192 5	0.181 5	0.309 6	0.135 0	0.108 1	0.232 7
$\mu 21$ (WKS)	0.084 6	0.081 2	0.568 5	0.045 5	0.149 5	0.067 4	0.126 5	0.064 5	0.361 1	0.050 5	0.070 1	0.064 6	0.144 5

[0157] 表8 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (WKS) 加洞鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
$\mu 01$ (WKS)	0.050 1	0.058 8	0.526 1	0.503 3	0.515 9	0.637 9	0.057 7	0.056 0	0.063 7	0.059 3	0.058 4	0.062 9	0.220 9
$\mu 02$ (WKS)	0.023 9	0.340 7	0.847 1	0.066 7	0.317 3	0.433 2	0.181 3	0.040 7	0.027 4	0.034 3	0.002 0	0.564 6	0.239 9
$\mu 03$ (WKS)	0.015 8	0.027 8	0.293 9	0.038 4	0.051 5	0.017 1	0.076 2	0.054 3	0.020 0	0.025 3	0.046 7	0.072 1	0.061 6
$\mu 11$ (WKS)	0.024 7	0.063 8	0.223 8	0.002 6	0.041 1	0.037 1	0.034 4	0.058 3	0.017 0	0.022 9	0.068 3	0.175 5	0.064 1
$\mu 12$ (WKS)	0.062 1	0.157 9	0.103 3	0.352 6	0.334 3	0.063 3	1.884 8	0.271 4	0.105 0	0.138 8	0.199 1	0.406 4	0.339 9
$\mu 21$ (WKS)	0.071 2	0.242 0	0.260 0	0.074 2	0.300 8	0.096 6	0.307 4	0.427 5	0.019 9	0.040 0	0.073 2	0.136 5	0.170 8

[0159] 表9 基于SHREC2010query数据库的不同类形状的GMSDs (WKS) 噪声鲁棒性

类别	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0012	0014	0015	均值
$\mu 01$ (WKS)	0.016 4	0.041 3	0.036 3	0.023 7	0.033 3	0.036 7	0.038 8	0.076 0	0.075 5	0.045 3	0.067 8	0.061 2	0.046 0
$\mu 02$ (WKS)	0.025 6	0.067 5	0.026 1	0.026 3	0.032 9	0.022 9	0.039 2	0.026 9	0.084 0	0.024 9	0.071 4	0.036 0	0.040 3
$\mu 03$ (WKS)	0.012 8	0.017 0	0.014 2	0.013 7	0.014 5	0.009 9	0.015 7	0.014 7	0.011 9	0.016 7	0.016 0	0.026 2	0.015 3
$\mu 11$ (WKS)	0.016 1	0.036 9	0.033 0	0.019 3	0.031 5	0.035 0	0.036 9	0.284 0	0.087 5	0.030 2	0.075 3	0.308 7	0.082 9
$\mu 12$ (WKS)	0.800 5	0.119 8	0.044 3	0.234 9	0.067 5	0.042 0	0.197 4	2.009 8	0.182 3	0.216 8	0.137 5	0.389 6	0.370 2
$\mu 21$ (WKS)	0.045 3	0.115 0	0.045 9	0.047 1	0.055 2	0.064 6	0.135 5	0.258 6	0.348 6	0.069 8	0.024 1	0.327 2	0.128 1

[0161] 本发明实施例提供一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,基于几何不变矩和条件矩理论,分别获取了HKS和WKS的六个几何矩,定义了几何矩谱描述符GMSDs,GMSDs不仅继承了谱形状描述符的优良特性,克服了谱形状描述符对参数选择敏感的缺点,而且具有不变矩理论的统计特征,非常适合于三维形状分析。并且,本发明实施例提供的方法在SHREC2010query和TOSCA形状分析基准上达到了最先进的性能。同时,本发

明实施例提供的方法具有普适性,亦可扩展到其他多参数序列的形状描述符中,包括SIHKS等。

[0162] 本发明实施例提供的一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,通过采集三维模型,获取三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点,根据三维模型的一环邻域顶点,计算三维模型的LBO算子,利用三维模型的LBO算子,计算三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取三维模型的六个几何矩描述符,利用三维模型的六个几何矩描述符,获取三维模型与其他三维模型的匹配度,不仅实现了无需依赖参数的选择,便能很好地描述和表示各种形状的拓扑和几何特征,具备普适性,而且增强了谱形状描述子的识别能力,降低了形状匹配的时间复杂度。

[0163] 实施例二

[0164] 为配合实现上述实施例提供的一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配方法,本发明实施例提供一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配装置,参照图4,该装置包括:

[0165] 采集模块1,用于采集三维模型;

[0166] 第一获取模块2,用于获取三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点;

[0167] 第一计算模块3,用于根据三维模型的一环邻域顶点,计算三维模型的LBO算子;

[0168] 第二计算模块4,用于利用三维模型的LBO算子,计算三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;

[0169] 第二获取模块5,用于根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取三维模型的六个几何矩描述符;

[0170] 第三获取模块6,用于利用三维模型的六个几何矩描述符,获取三维模型与其他三维模型的匹配度。

[0171] 进一步的,三维模型包括:多个顶点,每个顶点均有与其对应的序号。

[0172] 进一步的,第一获取模块2,具体用于:

[0173] 在三维模型中,与三维模型中的顶点直接相连接的顶点,为三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点;

[0174] 基于三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点对应的序号,对三维模型中的顶点对应的一环邻域顶点进行升序排序。

[0175] 进一步的,第一计算模块3,具体用于:

[0176] 按下式计算三维模型中第*i*个顶点对应的离散LBO算子:

$$[0177] \quad LB(f(v_i)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) \cdot |f(v_i) - f(N_j)|$$

[0178] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为三维模型中第*i*个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; v_i 为三维模型中第*i*个顶点, $f(v_i)$ 为三维模型中第*i*个顶点对应的实值函数的值, N_j 为三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点, $f(N_j)$ 为三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点对应的实值函数的值;令连接三维模型中第*i*个顶点 v_i 和三维模型中第*i*个顶点对应的第*j*个一环邻域顶点 N_j 的线段为 p_{ij} ,则 α_j 和 β_j 分别为边 p_{ij} 两侧的对角;

[0179] 三维模型中所有顶点对应的离散LBO算子,构成三维模型的LBO算子。

[0180] 进一步的,第二计算模块4,具体用于:

[0181] 对三维模型的LBO算子进行谱分解,得到三维模型的LBO算子的特征值和特征向量;

[0182] 其中,按下式确定三维模型的LBO算子的特征值和特征向量:

$$[0183] \quad \Delta M \cdot \varphi_k = \lambda_k \cdot \varphi_k$$

[0184] 上式中, $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; ΔM 为三维模型的LBO算子, λ_k 为三维模型的LBO算子的第 k 个特征值, φ_k 为三维模型的LBO算子的第 k 个特征值对应的特征向量。

[0185] 进一步的,第二获取模块5,包括:

[0186] 第一计算单元51,用于根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,计算三维模型中顶点的谱形状描述符,以及计算三维模型中每个顶点的对应的一环邻域顶点的谱形状描述符;

[0187] 第二计算单元52,用于根据三维模型中顶点的谱形状描述符和三维模型中每个顶点的对应的一环邻域顶点的谱形状描述符,计算一阶时间矩 μ_{01} 、二阶时间矩 μ_{02} 、三阶时间矩 μ_{03} 、一阶空间矩 μ_{11} 、三阶空间矩 μ_{12} 和三阶空间矩 μ_{21} ;

[0188] 确定单元53,用于按下式确定三维模型的六个几何矩描述符GMSDs:

$$[0189] \quad \text{GMSDs} = \{\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{21}\}。$$

[0190] 进一步的,第一计算单元51,具体用于:

[0191] 按下式确定三维模型中第 i 个顶点的谱形状描述符 Φ_i :

$$[0192] \quad \Phi_i = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

[0193] 按下式确定三维模型中第 i 个顶点对应的第 j 个一环邻域顶点的谱形状描述符 Φ_j :

$$[0194] \quad \Phi_j = \sum_{k=1}^K \phi(\lambda_k) \cdot \varphi_k^2$$

[0195] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为三维模型中第 i 个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; $k \in [1, K]$, K 为特征值的总数量; λ_k 为三维模型的LBO算子的第 k 个特征值, φ_k 为三维模型的LBO算子的第 k 个特征值对应的特征向量, $\phi(\lambda_k)$ 为滤波函数;

[0196] 其中,当谱形状描述符为热核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-\lambda_k t}$, t 为时间参数;

[0197] 当谱形状描述符为波核签名谱形状描述符时,滤波函数 $\phi(\lambda_k) = e^{-i \cdot \lambda_k t}$, i 为虚数 i 。

[0198] 进一步的,第二计算单元52,具体用于:

[0199] 按下式确定一阶时间矩 μ_{01} :

$$[0200] \quad \mu_{01} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i$$

[0201] 按下式确定二阶时间矩 μ_{02} :

$$[0202] \quad \mu_{02} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^2$$

[0203] 按下式确定三阶时间矩 μ_{03} :

$$[0204] \quad \mu_{03} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n [\Phi_i - \mu_{01}(\Phi_i)]^3}{(\sqrt{\mu_{02}(\Phi_i)})^3}$$

[0205] 按下式确定一阶空间矩 μ_{11} :

$$[0206] \quad \mu_{11} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)$$

[0207] 按下式确定三阶空间矩 μ_{12} :

$$[0208] \quad \mu_{12} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left[\Phi_j - \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right) \right]^2 \right\}$$

[0209] 按下式确定三阶空间矩 μ_{21} :

$$[0210] \quad \mu_{21} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\Phi_i - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Phi_j \right)^2$$

[0211] 上式中, $i \in [1, n]$, n 为三维模型中的顶点的总数量; $j \in [1, m]$, m 为三维模型中第 i 个顶点对应的一环邻域顶点的总数量; Φ_i 为三维模型中第 i 个顶点的谱形状描述符; Φ_j 为三维模型中第 i 个顶点对应的第 j 个一环邻域顶点的谱形状描述符。

[0212] 进一步的, 第三获取模块6, 具体用于:

[0213] 令三维模型中的所有顶点构成的集合为集合A, 其他三维模型中的所有顶点构成的集合为集合B;

[0214] 按下式确定三维模型与其他三维模型的匹配度MHD(A, B):

$$[0215] \quad \text{MHD}(A, B) = \max[d(A, B), d(B, A)]$$

[0216] 上式中, $d(A, B)$ 为集合A中的每个顶点 v_a 与集合B中的每个顶点 v_b 的距离最小值的均值; $d(B, A)$ 为集合B中的各个顶点 v_b 与集合A中的每个顶点 v_a 的距离最小值的均值;

[0217] 其中, 按下式确定 $d(A, B)$:

$$[0218] \quad d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|v_a - v_b\|$$

[0219] 按下式确定 $d(B, A)$:

$$[0220] \quad d(B, A) = \frac{1}{N_B} \sum_{b \in B} \min_{a \in A} \|v_b - v_a\|$$

[0221] 上式中, $a \in [1, N_A]$, N_A 为集合A中顶点的总数量; $b \in [1, N_B]$, N_B 为集合B中顶点的总数量; $\|v_a - v_b\|$ 为集合A中顶点 v_a 到集合B中顶点 v_b 的欧氏距离, $\|v_b - v_a\|$ 为集合B中顶点 v_b 到集合A中顶点 v_a 的欧氏距离。

[0222] 本发明实施例提供一种基于不变矩的谱形状描述符的三维模型匹配装置,通过采集模块1采集三维模型,第一获取模块2获取三维模型中各个顶点对应的一环邻域顶点,第一计算模块3根据三维模型的一环邻域顶点,计算三维模型的LBO算子,第二计算模块4利用三维模型的LBO算子,计算三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,第二获取模块5根据三维模型的LBO算子的特征值和特征向量,获取三维模型的六个几何矩描述符,第三获取模块6利用三维模型的六个几何矩描述符,获取三维模型与其他三维模型的匹配度,不仅实现了无需依赖参数的选择,便能很好地描述和表示各种形状的拓扑和几何特征,具备普适性,而且增强了谱形状描述子的识别能力,降低了形状匹配的时间复杂度。

[0223] 可以理解的是,上述提供的装置实施例与上述的方法实施例对应,相应的具体内容可以相互参考,在此不再赘述。

[0224] 可以理解的是,上述各实施例中相同或相似部分可以相互参考,在一些实施例中未详细说明的内容可以参见其他实施例中相同或相似的内容。

[0225] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器和光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0226] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0227] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令方法的制造品,该指令方法实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0228] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0229] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

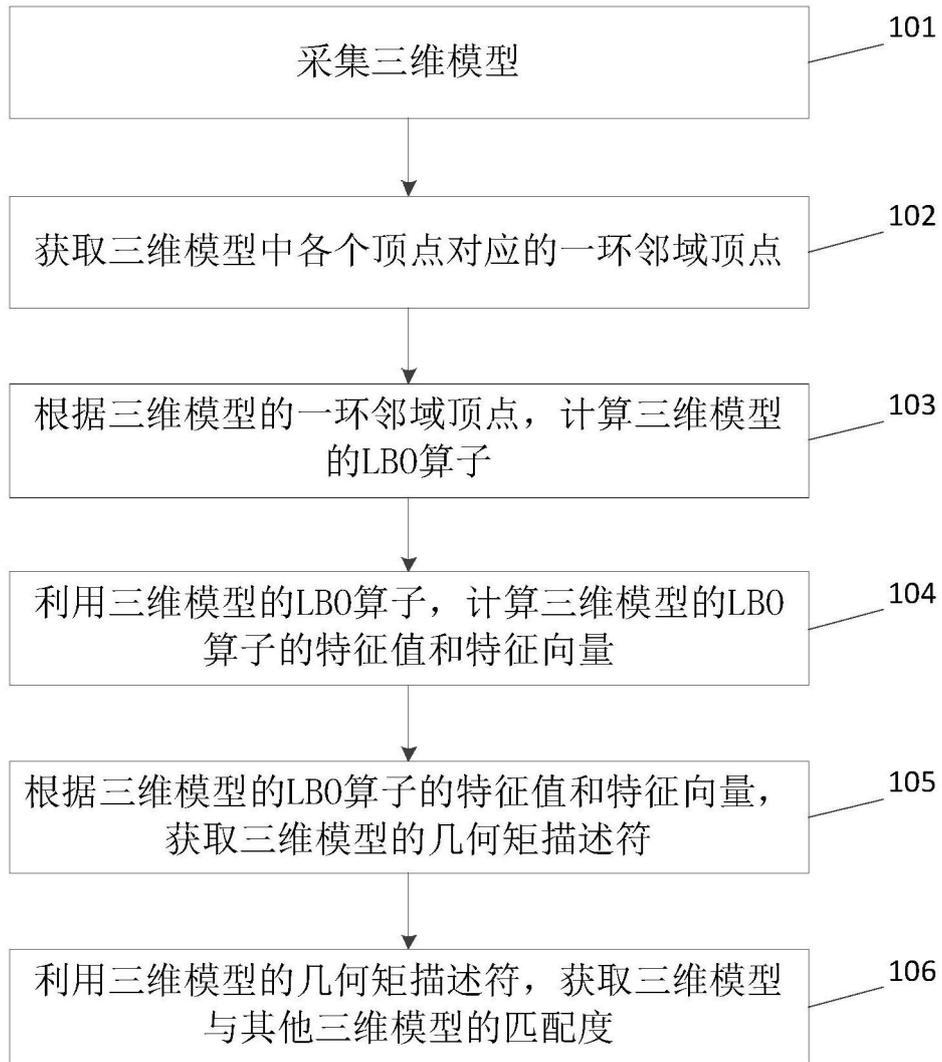


图1

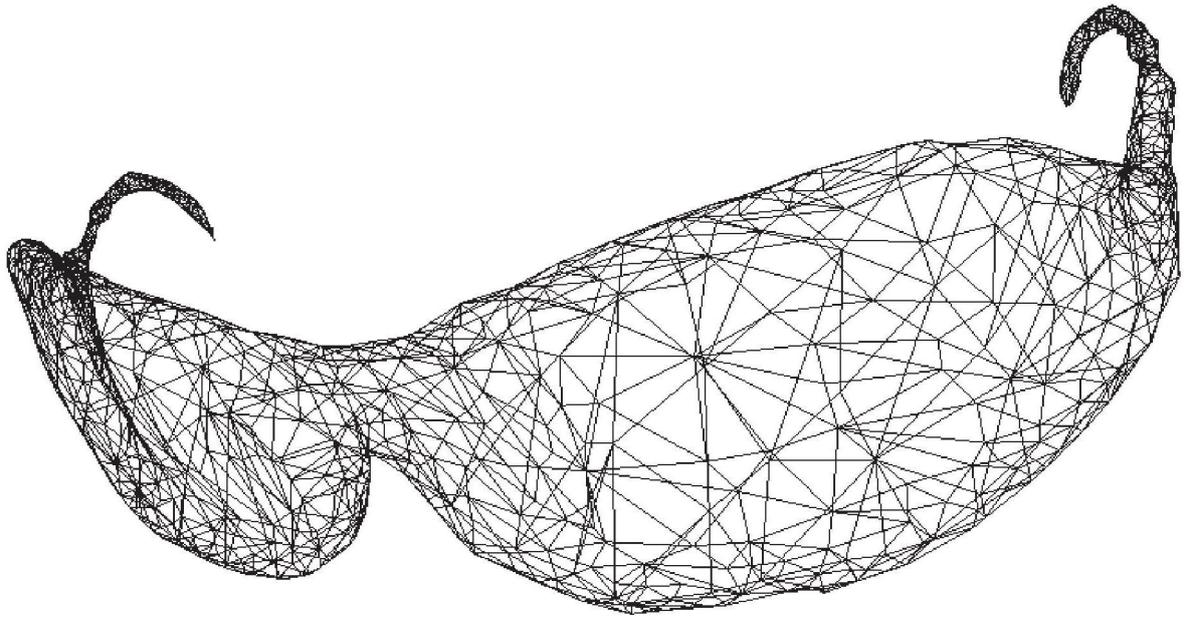


图2

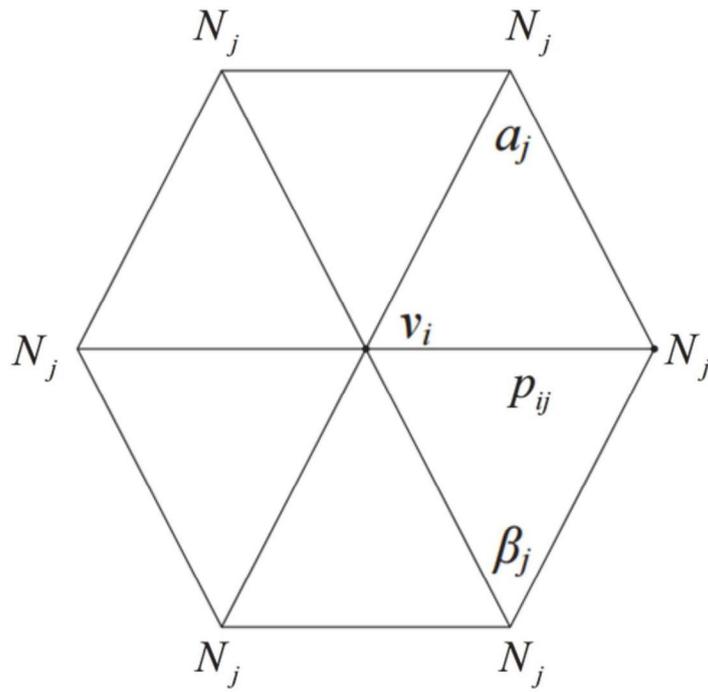


图3

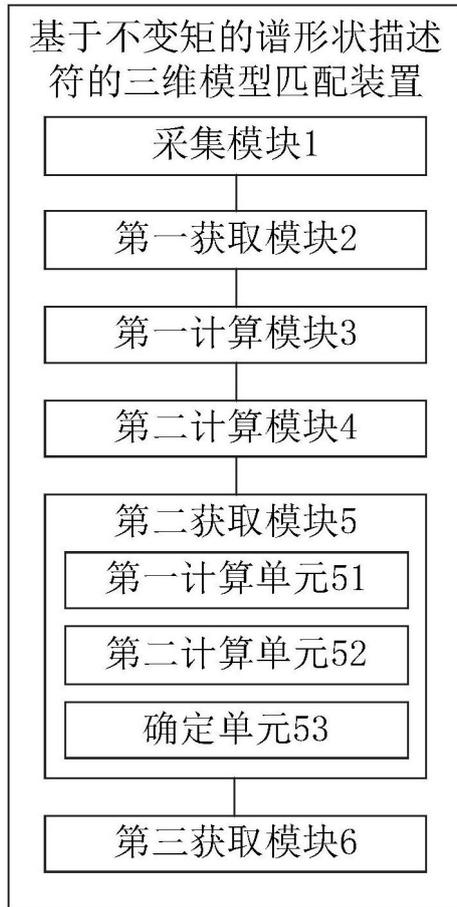


图4