



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109215129 A

(43)申请公布日 2019.01.15

(21)申请号 201710540090.7

(22)申请日 2017.07.05

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所  
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街  
114号

(72)发明人 朱枫 鲁荣荣 吴清潇 郝颖明  
范晓鹏 付双飞

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 王倩

(51)Int.Cl.  
G06T 17/30(2006.01)

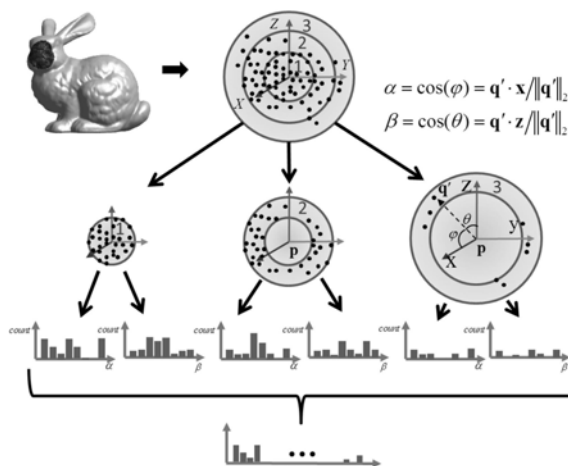
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于三维点云的局部特征描述方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于三维点云的局部特征描述方法,本发明包括以下步骤:从场景点云中提取若干特征点,以每个特征点为中心,根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系;将特征点球邻域内的点变换到相应的局部坐标系下,并沿径向对球邻域进行空间区域划分。针对每个被划分的空间区域,计算位于其中的每个点与坐标系x轴和z轴的夹角余弦值  $\alpha$  和  $\beta$ ,并将它们分别映射到两个独立的一维直方图。将所有区域的一维直方图串联起来,并除以特征点球邻域内点的总数进行归一化进而得到最终的三维局部特征描述。本发明提出的三维局部特征描述符具有区分性好、鲁棒性强和计算效率高的特点,提高了场景点云之间相似部位的正确匹配率。



1. 一种基于三维点云的局部特征描述方法,其特征在于,包括以下步骤:

从场景点云中提取若干特征点,以每个特征点为中心,根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系;

将特征点球邻域内的点变换到该特征点的局部坐标系下,并沿径向对球邻域进行空间区域划分;

针对每个被划分的空间区域,计算位于其中的每个点与坐标系x轴和z轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ ,并将它们分别映射到两个独立的一维直方图;

将所有区域的一维直方图串联起来,并除以该特征点球邻域内点的总数进行归一化进而得到最终的三维局部特征描述。

2. 根据权利要求1所述的一种基于三维点云的局部特征描述方法,其特征在于所述根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系包括以下步骤:

给定一个特征点 $p$ 及其半径为 $R$ 的球邻域点集合 $S(p) = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ ,满足 $\|q_i - p\|_2 \leq R$ ,其中 $n$ 代表球邻域内点的数量;

首先,以特征点 $p$ 为局部坐标系原点,按如下公式计算加权协方差矩阵 $C$ :

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (R - d_i)} \sum_{i=1}^n (R - d_i)(q_i - p)(q_i - p)^T, \quad (1)$$

其中, $p = (x, y, z)^T$ , $q_i = (x_i, y_i, z_i)^T$ , $d_i = \|q_i - p\|_2$ , $(x, y, z)^T$ 为特征点 $p$ 的三维坐标, $(x_i, y_i, z_i)^T$ 表示特征点 $p$ 的第 $i$ 个邻域点的三维坐标;

然后对矩阵 $C$ 进行特征值分解:

$$CV = EV, \quad (2)$$

其中, $E = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}$ , $\lambda_k, k=1, 2, 3$ 是矩阵 $C$ 的3个特征值,矩阵 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ , $v_k, k=1, 2, 3$ 分别是每个特征值对应的特征向量;

按照特征值的绝对值大小进行降序排列,记最小特征值对应的特征向量为 $v_z$ ;则局部坐标系的z轴由如下公式确定:

$$\mathbf{z} = \begin{cases} v_z, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_z, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) = 1$ 当且仅当 $v_z^T \cdot (q_i - p) > 0$ ,否则为0;

记最大特征值对应的特征向量为 $v_x$ ;局部坐标系的x轴由下面的公式确定:

$$\mathbf{x} = \begin{cases} v_x, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_x^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_x, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

最后,局部坐标系的y轴为 $z \times x$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种基于三维点云的局部特征描述方法,其特征在于,所述将特征点球邻域内的点变换到该特征点的局部坐标系下包括以下步骤:

$$q'_i = [x, y, z](q_i - p), i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

以特征点为坐标原点的邻域点集为 $Q(p) = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_n\}$ ;然后沿径向将球邻域均匀划分为 $N_r$ 份。

4. 根据权利要求1所述的一种基于三维点云的局部特征描述方法,其特征在于,所述计算位于其中的每个点与坐标系x轴和z轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ ,并将它们分别映射到两个独立的一维直方图包括以下步骤:

某被划分的空间区域中的每一个点 $q'_i$ ,它与该特征点的局部坐标系原点连线形成的方向向量与x轴、z轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ 的计算公式如下:

$$\alpha = q'_i \cdot x / \|q'_i\|_2 = q'_{ix} / \|q'_i\|_2 \quad (6)$$

$$\beta = q'_i \cdot z / \|q'_i\|_2 = q'_{iz} / \|q'_i\|_2 \quad (7)$$

其中, $q'_{ix}$ 与 $q'_{iz}$ 分别是点 $q'_i$ 的x坐标和z坐标;

夹角余弦值的范围为 $[-1, 1]$ ,将该空间区域均匀划分为 $N_h$ 份,然后将 $\alpha$ 和 $\beta$ 分别映射到两个独立的直方图中;从而每个被划分的空间区域得到两个一维统计直方图 $h_\alpha$ 和 $h_\beta$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种基于三维点云的局部特征描述方法,其特征在于,所述最终的局部特征描述符为:

$$f = [h_\alpha^1, h_\beta^1, h_\alpha^2, h_\beta^2, \dots, h_\alpha^6, h_\beta^6] / n \quad (8)$$

其中 $[h_\alpha^j, h_\beta^j]$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_r$ 分别是第j个区域的两个直方图。

6. 根据权利要求1所述的一种基于三维点云的局部特征描述方法,其特征在于用于实现两个点云场景间相似部位的匹配。

## 一种基于三维点云的局部特征描述方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于计算机视觉领域,具体的说涉及一种基于三维点云的局部特征描述方法。

### 背景技术

[0002] 在两个不同的点云场景中寻找相似点是很多应用的基础,例如三维场景重建、三维目标识别以及三维目标检索等。寻找相似点的过程称为特征匹配。而对三维场景进行特征描述又是特征匹配的前提。由于传感器自身精度的限制,加上采集视角的不同,获取的场景点云数据可能会出现分辨率不均匀,夹带噪声,某些区域甚至出现孔洞以及感兴趣目标被遮挡的情形,这些因素都会加大特征描述的难度。如何设计一种区分性好、鲁棒性强的三维局部特征正是本发明要解决的问题。

[0003] 自旋图特征和Signature of Histograms of Orientations (SHOT) 特征是目前研究领域效果较好的局部特征描述符。自旋图特征首先以特征点的法向量为主轴建立局部圆柱坐标系,然后将特征点球邻域内每个点在该坐标系下的二元表示映射到一个二维直方图形成对特征点局部的描述。该方法利用了直方图的统计特性,具有较好的鲁棒性。但是该特征描述没有考虑邻域点的三维信息,故而区分性不强。SHOT特征首先根据特征点的邻域信息建立一个三维局部坐标系,然后以该坐标系为参考轴,将特征点的球邻域沿径向、经线方向以及纬线方向共划分为32个子区域。对于每个子区域,然后计算其中每个点的法向量与特征点法向量的夹角,并将其映射到一个长度为11的一维直方图中,最终得到一个352维的局部特征。该方法通过建立局部坐标系以及区域划分,使得邻域点的三维空间信息得到了很好的保留。但是需要估计每个点的法向量,而法向量的估计容易受到噪声以及分辨率不均匀的影响,所以最终得到的特征描述符也会对这些因素敏感。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的不足,本发明直接对特征点球邻域点的三维位置信息进行编码,避免使用点的法向量信息。提出了一种基于三维点云的局部特征描述方法。

[0005] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种基于三维点云的局部特征描述方法,包括以下步骤:

[0006] 从场景点云中提取若干特征点,以每个特征点为中心,根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系;

[0007] 将特征点球邻域内的点变换到该特征点的局部坐标系下,并沿径向对球邻域进行空间区域划分;

[0008] 针对每个被划分的空间区域,计算位于其中的每个点与坐标系x轴和z轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ ,并将它们分别映射到两个独立的一维直方图;

[0009] 将所有区域的一维直方图串联起来,并除以该特征点球邻域内点的总数进行归一化进而得到最终的三维局部特征描述。

[0010] 所述根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系包括以下步骤:

[0011] 给定一个特征点 $p$ 及其半径为 $R$ 的球邻域点集合 $S(p) = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , 满足 $\|q_i - p\|_2 \leq R$ , 其中 $n$ 代表球邻域内点的数量;

[0012] 首先, 以特征点 $p$ 为局部坐标系原点, 按如下公式计算加权协方差矩阵 $C$ :

$$[0013] \quad C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (R - d_i)} \sum_{i=1}^n (R - d_i)(q_i - p)(q_i - p)^T, \quad (9)$$

[0014] 其中,  $p = (x, y, z)^T$ ,  $q_i = (x_i, y_i, z_i)^T$ ,  $d_i = \|q_i - p\|_2$ ,  $(x, y, z)^T$ 为特征点 $p$ 的三维坐标,  $(x_i, y_i, z_i)^T$ 表示特征点 $p$ 的第 $i$ 个邻域点的三维坐标;

[0015] 然后对矩阵 $C$ 进行特征值分解:

$$[0016] \quad CV = EV, \quad (10)$$

[0017] 其中,  $E = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}$ ,  $\lambda_k, k=1, 2, 3$ 是矩阵 $C$ 的3个特征值, 矩阵 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ ,  $v_k, k=1, 2, 3$ 分别是每个特征值对应的特征向量;

[0018] 按照特征值的绝对值大小进行降序排列, 记最小特征值对应的特征向量为 $v_z$ ; 则局部坐标系的 $z$ 轴由如下公式确定:

$$[0019] \quad \mathbf{z} = \begin{cases} v_z, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_z, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

[0020] 其中,  $\delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) = 1$ 当且仅当 $v_z^T \cdot (q_i - p) > 0$ , 否则为0;

[0021] 记最大特征值对应的特征向量为 $v_x$ ; 局部坐标系的 $x$ 轴由下面的公式确定:

$$[0022] \quad \mathbf{x} = \begin{cases} v_x, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_x^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_x, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

[0023] 最后, 局部坐标系的 $y$ 轴为 $z \times x$ 。

[0024] 将特征点球邻域内的点变换到该特征点的局部坐标系下包括以下步骤:

$$[0025] \quad q'_i = [x, y, z](q_i - p), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (13)$$

[0026] 以特征点为坐标原点的邻域点集为 $Q(p) = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_n\}$ ; 然后沿径向将球邻域均匀划分为 $N_r$ 份。

[0027] 所述计算位于其中的每个点与坐标系 $x$ 轴和 $z$ 轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ , 并将它们分别映射到两个独立的一维直方图包括以下步骤:

[0028] 某被划分的空间区域中的每一个点 $q'_i$ , 它与该特征点的局部坐标系原点连线形成的方向向量与 $x$ 轴、 $z$ 轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ 的计算公式如下:

$$[0029] \quad \alpha = q'_i \cdot x / \|q'_i\|_2 = q'_{ix} / \|q'_i\|_2 \quad (14)$$

$$[0030] \quad \beta = q'_i \cdot z / \|q'_i\|_2 = q'_{iz} / \|q'_i\|_2 \quad (15)$$

[0031] 其中,  $q'_{ix}$ 与 $q'_{iz}$ 分别是点 $q'_i$ 的 $x$ 坐标和 $z$ 坐标;

[0032] 夹角余弦值的范围为 $[-1, 1]$ , 将该空间区域均匀划分为 $N_h$ 份, 然后将 $\alpha$ 和 $\beta$ 分别映射到两个独立的直方图中; 从而每个被划分的空间区域得到两个一维统计直方图 $h_\alpha$ 和 $h_\beta$ 。

[0033] 所述最终的局部特征描述符为:

$$[0034] \quad f = [h_{\alpha}^1, h_{\beta}^1, h_{\alpha}^2, h_{\beta}^2, \dots, h_{\alpha}^6, h_{\beta}^6] / n \quad (16)$$

[0035] 其中 $[h_{\alpha}^j, h_{\beta}^j]$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_r$  分别是第 $j$ 个区域的两个直方图。

[0036] 一种基于三维点云的局部特征描述方法,用于实现两个点云场景间相似部位的匹配。

[0037] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0038] 1. 将特征点的球邻域点变换到以特征点为原点建立的三维局部坐标系下使得最终的特征描述符具有旋转和平移不变性;

[0039] 2. 结合空间区域划分以及直方图统计的优点,最终建立的局部特征描述符具有较强的区分性和鲁棒性。

[0040] 3. 最终的特征描述符维度为 $2N_r N_h$ , 研究发现取 $N_r = 6$ ,  $N_h = 11$ 时,有利于节省存储空间以及加速后续的特征匹配效率。

## 附图说明

[0041] 图1为基于点云的三维局部特征生成示意图;

## 具体实施方式

[0042] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0043] 本发明面向实际工程应用,提出了一种基于三维点云的局部特征描述方法,可以实现两个点云场景间相似部位的匹配,能够适用于复杂多变的背景条件。本发明包括以下四个步骤:1、从场景点云中提取若干特征点,以每个特征点为中心,根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系;2、将特征点球邻域内的点变换到相应的局部坐标系下,并沿径向对球邻域进行空间区域划分;3、针对每个被划分的空间区域,计算位于其中的每个点与坐标系 $x$ 轴和 $z$ 轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ ,并将它们分别映射到两个独立的一维直方图。4、将所有区域的一维直方图串联起来,并除以特征点球邻域内点的总数进行归一化进而得到最终的三维局部特征描述。本发明提出的三维局部特征描述符具有区分性好、鲁棒性强和计算效率高的特点,提高了场景点云之间相似部位的正确匹配率。

[0044] 一种基于三维点云的局部特征描述方法,包括以下步骤:

[0045] 从场景点云中提取若干特征点,以每个特征点为中心,根据其球邻域内的点建立三维局部坐标系;

[0046] 将特征点球邻域内的点变换到相应的局部坐标系下,并沿径向对球邻域进行空间区域划分;

[0047] 针对每个被划分的空间区域,计算位于其中的每个点与坐标系 $x$ 轴和 $z$ 轴的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ ,并将它们分别映射到两个独立的一维直方图;

[0048] 将所有区域的一维直方图串联起来,并除以特征点球邻域内点的总数进行归一化进而得到最终的三维局部特征描述。

[0049] 给定一个特征点 $p$ 及其半径为 $R$ 的球邻域点集合 $S(p) = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  满足 $\|q_i - p\|_2 \leq R$ , 其中 $n$ 代表球邻域内点的数量。所述三维局部坐标系的建立步骤如下:

[0050] 首先,以特征点 $p$ 为局部坐标系原点,按如下公式计算加权协方差矩阵 $C$ :

$$[0051] \quad C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (R-d_i)} \sum_{i=1}^n (R-d_i)(q_i-p)(q_i-p)^T, \quad (17)$$

[0052] 其中,  $p = (x, y, z)^T$ ,  $q_i = (x_i, y_i, z_i)^T$ ,  $d_i = \|q_i - p\|_2$ 。然后对矩阵C进行特征值分解:

$$[0053] \quad CV = EV, \quad (18)$$

[0054] 其中,  $E = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}$ ,  $\lambda_k, k=1, 2, 3$ 是矩阵C的3个特征值, 矩阵  $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ ,  $v_k, k=1, 2, 3$ 分别是每个特征值对应的特征向量。按照特征值的绝对值大小进行降序排列, 记最小特征值对应的特征向量为  $v_z$ 。则局部坐标系的z轴由如下公式确定:

$$[0055] \quad \mathbf{z} = \begin{cases} v_z, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_z, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

[0056] 其中,  $\delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) = 1$  当且仅当  $v_z^T \cdot (q_i - p) > 0$ , 否则为0。记最大特征值对应的特征向量为  $v_x$ 。类似地, 局部坐标系的x轴由下面的公式确定:

$$[0057] \quad \mathbf{x} = \begin{cases} v_x, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_x^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_x, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

[0058] 最后, 局部坐标系的y轴为  $z \times x$ 。

[0059] 所述球邻域内的点变换到局部坐标系的公式如下:

$$[0060] \quad q'_i = [x, y, z] (q_i - p), i=1, 2, \dots, n \quad (21)$$

[0061] 则以特征点为坐标原点的邻域点集为  $Q(p) = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_n\}$ 。然后沿径向将球邻域进均匀划分为6份。

[0062] 所述每个子区域中的每一个点  $q'_i$ , 它与原点连线形成的方向向量与x轴、z轴的夹角余弦值  $\alpha$  和  $\beta$  的计算公式如下:

$$[0063] \quad \alpha = q'_i \cdot x / \|q'_i\|_2 = q'_{ix} / \|q'_i\|_2 \quad (22)$$

$$[0064] \quad \beta = q'_i \cdot z / \|q'_i\|_2 = q'_{iz} / \|q'_i\|_2 \quad (23)$$

[0065] 其中,  $q'_{ix}$  与  $q'_{iz}$  分别是点  $q'_i$  的x坐标和z坐标。由于夹角余弦值的范围为  $[-1, 1]$ , 将该区间均匀划分为11个箱子, 将  $\alpha$  和  $\beta$  分别映射到两个独立的直方图中。从而每个子区域可以得到两个一维统计直方图  $h_\alpha$  和  $h_\beta$ 。

[0066] 所述最终的局部特征描述符的生成方式如下式所示:

$$[0067] \quad f = [h_\alpha^1, h_\beta^1, h_\alpha^2, h_\beta^2, \dots, h_\alpha^6, h_\beta^6] / n \quad (24)$$

[0068] 其中  $[h_\alpha^j, h_\beta^j], j=1, 2, \dots, 6$  分别是第j个区域的两个直方图。

[0069] 最后将每个特征点的三维局部特征描述存入特征库, 构成对整个点云场景的特征描述, 并用于后续的特征匹配。

[0070] 参阅图1, 一种基于点云的局部特征描述方法, 包含以下步骤:

[0071] 1. 对于某个特征点  $p$ , 根据K近邻算法获取与之距离不超过R的邻域点集合  $S(p) = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}, \|q_i - p\|_2 \leq R$ 。

[0072] 2. 以特征点  $p$  为中心, 根据下式计算加权协方差矩阵C:

$$[0073] \quad C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (R-d_i)} \sum_{i=1}^n (R-d_i)(q_i-p)(q_i-p)^T,$$

[0074] 对矩阵C进行特征值分解,得到三个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 以及对应的三个特征向量 $v_1, v_2, v_3$ 。对特征值按照其绝对值的大小进行降序排列,记最小的那个特征值对应的特征向量为 $v_z$ 。然后由下式确定局部坐标系的z轴:

$$[0075] \quad \mathbf{z} = \begin{cases} v_z, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_z^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_z, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0076] 同理,记最大的那个特征值对应的特征向量为 $v_x$ 。接着由下式确定局部坐标系的x轴:

$$[0077] \quad \mathbf{x} = \begin{cases} v_x, & \text{if } \sum_{i=1}^n \delta(v_x^T \cdot (q_i - p)) > \frac{n}{2} \\ -v_x, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0078] 最后y轴由z轴叉乘x轴得到,即 $z \times x$ 。

[0079] 3. 根据第二步中建立好的局部坐标系,将特征点p的所有球邻域点变换到该局部坐标系下,得到以点p为坐标原点的邻域点集合 $Q(p) = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_n\}$ 。其中, $q'_i = [x, y, z] (q_i - p)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。

[0080] 4. 将点p的球邻域按照径向等间隔划分为6个球壳空间(图1为了显示清晰只划分为了3个)。针对每个球壳区间,找出位于其中的点,并计算点与原点连线所形成的向量 $pq'$ 分别于x轴、z轴的夹角 $\varphi$ 和 $\theta$ 。为了提高计算效率,直接计算与它们等效的夹角余弦值 $\alpha$ 和 $\beta$ 。然后将 $\alpha$ 和 $\beta$ 分别映射到两个独立的长度为11的直方图中。该直方图的箱子尺寸为 $2/11$ ,是将余弦值域区间 $[-1, 1]$ 等间隔划分为11份确定的。

[0081] 5. 根据第4步的计算,每个球壳区域都可以生成两个长度为11的直方图。则6个球壳区域共产生了12个一维直方图。将这12个一维直方图依次串联形成一个长度为132的直方图,然后对直方图的每个元素都除以特征点p的邻域点总数n进行归一化,从而得到最终的局部特征描述符。



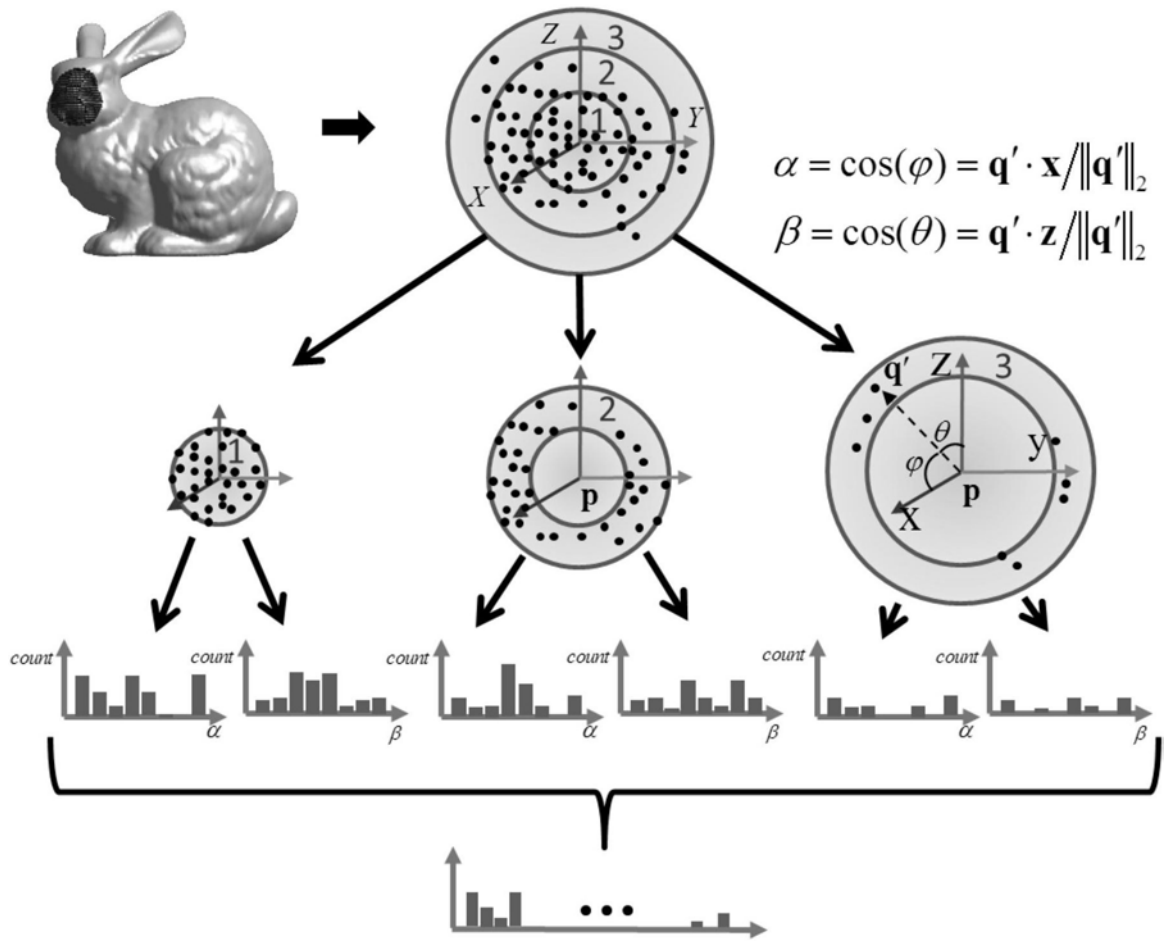


图1