

一种基于切片的三维模型检索算法 *

夏爱军, 孙树森, 曾 勇

(浙江理工大学 信息电子学院, 杭州 310018)

摘 要: 为了更加高效地从三维模型库中检索出相似模型,提出了一种基于切片的三维模型检索算法。首先应用主元分析对三维模型进行预处理;然后对预处理后的模型在不同位置 and 不同方向上进行切片,根据所得切片断面的相对面积进行三维模型检索。基于该算法设计并实现了三维模型检索系统。实验采用 PSB (Princeton Shape Benchmark) 提供的三维模型数据库,结果表明把模型的切片截面作为三维模型的特征描述,能有效地区分不同模型,并取得了较好的检索效果。

关键词: 切片; 三维模型检索; 主元分析; 向量距离; 模型检索

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0363-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.0100

3D model retrieval algorithm based on slice-cutting

XIA Ai-jun, SUN Shu-sen, ZENG Yong

(School of Information & Electronics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: For retrieving similar models more efficiently from 3D model database, this paper proposed a slice-cutting based 3D model retrieval method. Firstly, used PCA to preprocess a 3D model. Then, cut the preprocessed 3D model into slices using planes normal to principal directions. Finally, selected the ratio among the areas of these cutting slices as the representation of a 3D model and used to calculate the similarity between models. It developed a retrieval system based on this algorithm. The experiment adopted PSB 3D model database for retrieving. The results indicate that cutting slices based 3D model retrieval method is effective and promising.

Key words: cutting slice; 3D model retrieval; principal component analysis (PCA); vector distance; model retrieval

0 引言

随着三维数据获取、三维建模及图形处理软硬件技术的快速发展,在虚拟现实、三维游戏、三维动画、机械工业等多个领域,三维模型数量快速增长,涌现了许多三维模型库^[1]。若能充分利用这些已有模型库中的数据资源,可有效减轻设计新模型的工作量,降低成本。然而传统的关键词检索方式,由于命名、语言、领域等多种原因,难以快速、准确地检索到用户所需模型^[2],基于内容的三维模型检索可以克服传统关键词检索方式的不足,已成为当前的研究热点之一^[3]。

基于内容的三维模型检索主要研究如何对三维模型进行可高效计算相似度的描述以及检索界面的设计。三维模型的特征主要体现在特征选择和提取上,而为了相似度度量的方便,往往需要对模型进行规范化,并把提取的特征用描述符来表达,在此基础上进行相似性计算^[2]。检索界面的作用一方面为了方便用户使用,同时为了从用户的输入(关键字、二维草图、三维草图、三维模型示例等)获得要进行检索的特征。三维模型的特征可分为表面属性特征和形状特征。表面属性特征主要包括材质、纹理、颜色、反射系数等^[3],由于表面属性特征的多样性,一般不作为三维模型检索的特征;三维模型的形状特征都是建立在三维模型的几何形状和拓扑结构之上的。

已经提出的检索算法大部分是基于形状特征的,如:根据模型的体积进行检索的方法^[4];通过对模型的面片形状进行参数化近似,然后比较面片形状的方法^[5];Elad 和 Tal 等人通过采样得到的点集进行距的计算^[6]以及 Li 等人提出的三维极半径距^[7]都是基于几何统计特征的方法;还有基于光线投影法描述几何特征的,如 Vranic 等人通过模型中心发出的射线进行采样,然后通过球面调和函数分析获得不变矩^[8];刘一对 Vranic 方法的改进^[9]和 Vranic 提出基于同心球壳的形状描述符算法^[10];以及基于视图特征的模型检索方法^[11,12]。对于封闭的模型,还可以通过比较其体积分布进行检索,如 Kazhda 等人通过基于球面调和函数的体素化方法进行模型匹配^[1]。张欣等人通过对基于弦的方法的改进,提出了一种定义在极坐标系下的三维模型形状描述符^[2]。以上的算法都没有考虑三维模型的拓扑结构信息,通过图来描述模型的拓扑结构的方法主要有 Reeb 图方法^[13]和 Sundar 的中轴骨架法^[14]。

上面提到的各种算法,都有各自的优点和缺点,但都存在一个共同问题,原始模型不能通过提取的特征进行精确重构^[15]。Pu 等人通过对三维模型进行切片,通过切片可以精确地重构原始模型,通过比较切片的形状可以进行模型检索,但切片的形状也存在着效率较低的问题。

本文提出的三维模型检索算法,虽然也需对三维模型进行切片,但并不进行形状比较,大大提高了检索效率。

收稿日期: 2011-05-15; 修回日期: 2011-06-24 基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Y1100656)

作者简介: 夏爱军 (1987-), 男, 湖南汉寿人, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、计算机视觉 (327447103@qq.com); 孙树森 (1974-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为图形图像处理、数字水印; 曾勇 (1983-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、数字水印。

1 模型预处理

1.1 模型表示

在介绍本文提出的检索算法之前,本节先介绍下面要用到的三维模型表示方法。用 $M = \{V_M, C_M, P_M\}$ 来描述一个三维模型,其中, $V_M = \{V_i\}$ 是顶点集合, $i = 0, 1, \dots, n-1$, 每个顶点 V_i 有三个坐标分量 x_i, y_i, z_i ; $C_M = \{i_k, j_k, l_k\}$ 为三角形的集合, $k = 0, 1, \dots, m-1, 0 \leq i_k, j_k, l_k \leq n-1, i_k, j_k, l_k$ 是第 k 个三角形三个顶点的索引;属性集合 $P_M = \{\Phi(i) \mid i \in V_M\}, 0 \leq i \leq n-1$, 用于描述模型的颜色、光照和纹理等特征。

1.2 预处理

为了避免三维模型的位置、方向以及大小等因素对特征提取的影响,需要对模型进行预处理。预处理过程将任意位置、姿态、比例的模型作标准化处理,包括模型位置平移、比例归一化和坐标旋转。通过将模型中心平移到坐标系原点来解决坐标系中心位置不统一的问题;模型位置平移的处理是将以模型中心为原点的坐标系平移到模型中心点实现的。具体步骤是:首先,计算模型的最小包围盒 BB(bounding box);然后,计算出最小包围盒的中心 C 点;最后,将坐标原点平移到 C 点。

模型比例归一化解决模型比例不一致的问题。本文采用的方法是,对模型顶点进行遍历,找出与原点距离最大的顶点,并以该顶点到原点的距离为标准进行缩放。

坐标旋转调整模型在坐标系中的姿态,常用方法有主元分析(PCA)^[16]、基于模型实体不变矩特征的坐标标准化^[17]和各向异性变换^[18]等方法。本文采用主元分析法。首先,根据平移缩放后三维模型的顶点坐标经 PCA 运算得到主成分,选取特征值最大的三个主成分作为新的坐标系;然后,把原始坐标转换到新的坐标系下,得到模型在新坐标系下的顶点坐标。坐标系标准化示意图如图 1 所示。

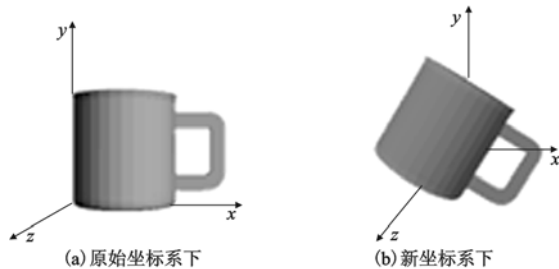


图1 坐标系标准化示意图

2 裁剪截面与检索算法

2.1 裁剪截面的求取

所谓裁剪就是用 一个平面(裁剪平面)去截一个三维模型。由于不同裁剪平面与三维模型相交所得的轮廓通常不同;另外,相同的裁剪平面去截不同的三维模型所得裁剪轮廓也不尽相同。本文正是利用三维模型被裁剪后所得的裁剪截面的这种特性来区分不同模型的。

本文采取与坐标轴垂直的裁剪平面。为便于描述,把垂直同一坐标轴的裁剪平面称为方向相同。方向相同但位置不同的裁剪平面是指法线相同但与坐标轴相交处坐标不同的裁剪平面。图 2 为模型裁剪示意图,图 2(a)(e)中的实线、短画线分别指示了 X, Y 方向的不同裁剪位置;(b)~(d)和(f)~(h)分别为(a)(e)图示位置相应的裁剪截面轮廓。同一模型方向相同位置不同的裁剪截面以及不同模型方向位置均相同的裁剪截面通常是不同的,如(b)(c)和(a)(f)与(j)。另外,同一模型从不同方向的裁剪截面也不相同,如(b)(f)。本文所述方法按权重

小综合考虑了 X, Y, Z 轴三个方向的裁剪截面面积,使提取的三维模型的特征能尽可能全面地表征三维模型。

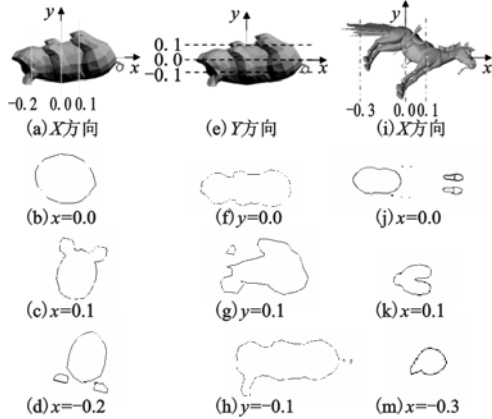


图2 裁剪示意图

那么如何求得一个平面与三维模型相交的裁剪截面呢?由于三角网格表示的三维模型由大量三角形组成。因此,只要求得一个平面与多个三角形边相交的点,便可得到裁剪截面,如图 3 所示。

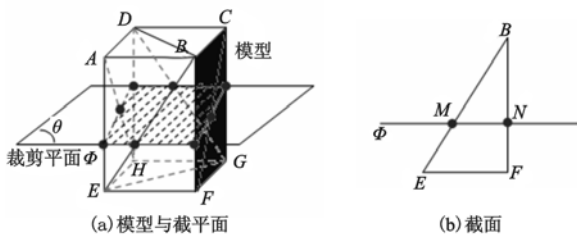


图3 裁剪截面计算

由图可知,每给定一个裁剪平面 $\Phi(Z = z)$ 可先求得 Φ 与模型相交的边集;再由边集计算出交点,如图 3(b)所示。若点 B, E 的坐标分别表示为 $(x_b, y_b, z_b), (x_e, y_e, z_e)$, 则交点 M 的坐标可表示为

$$\begin{cases} x_m = \frac{x_e(z - z_b) + x_b(z_e - z)}{z_e - z_b} \\ y_m = \frac{y_e(z - z_b) + y_b(z_e - z)}{z_e - z_b} \\ z_m = z \end{cases} \quad (1)$$

2.2 轮廓与面积

根据 2.1 节所述,得到了裁剪平面与三维模型相交的点集。有了这些点集,可以求得相应的裁剪轮廓;有了裁剪轮廓容易求得裁剪截面的面积。图 4(a)中阴影部分表示模型的包围盒 BB 沿 Z 轴方向投影所得矩形,其面积记为 S_z 。若垂直 Z 轴的第 i 个裁剪截面的面积为 S_{zi} ,则归一化结果 $r_{zi} (0 < r_{zi} \leq 1)$,同理可以表示出 r_{xi}, r_{yi} ,如式(2)所示:

$$r_{xi} = \frac{S_{xi}}{S_{\max}}, r_{yi} = \frac{S_{yi}}{S_{\max}}, r_{zi} = \frac{S_{zi}}{S_{\max}} \quad (0 < r_{xi}, r_{yi}, r_{zi} \leq 1) \quad (2)$$

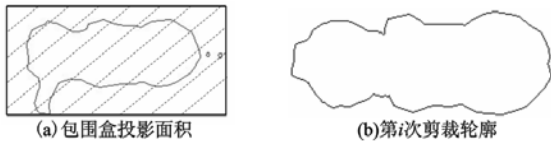


图4 剪裁轮廓与包围盒面积

2.3 特征描述

为了进行模型检索,把一个三维模型表示成一个 $N+3$ 维向量。其中 $N = N_x + N_y + N_z, N_x, N_y, N_z$ 分别表示 X, Y, Z 坐标轴上的裁剪次数,其取值要综合考虑精度要求及时间效率确定。具体而言,精度要求高时,取较大值;否则可取较小值,以取得更好的时间效率。实验中取 $N_x = 10, N_y = 6, N_z = 4$, 权重分别为

0.5、0.3、0.2,在保证精度要求的前提下尽可能提高时间效率。

根据前面的分析,每个三维模型可以用下面的特征向量来描述:

$$V_M = (r_{x_1}, r_{x_2}, \dots, r_{x_{N_x}}, r_{y_1}, r_{y_2}, \dots, r_{y_{N_y}}, r_{z_1}, r_{z_2}, \dots, r_{z_{N_z}})$$
 (3)

其中: r 由式(2)确定; $S_{\max} = \max(S_x, S_y, S_z), S_x, S_y, S_z, S_{x_i}, S_{y_j}, S_{z_k}$ 意义同前。根据本节描述,每一个三维模型都可以表示成一个 $N+3$ 维的向量,那么,三维模型之间的比较就转为与模型对应的向量之间的对比。计算两个向量相似有多种方法,本文采用计算两个向量之间距离的方法。两个模型 $M_1、M_2$ 之间的相似度用这两个三维模型的距离向量之间的距离 $D(M_1, M_2)$ 来描述, D 越小,两个模型越相似。 $D(M_1, M_2)$ 定义为

$$D(M_1, M_2) \equiv D(V_{M_1}, V_{M_2}) = \|V_{M_1} - V_{M_2}\|$$
 (4)

3 实验结果及分析

实验采用 PSB 提供的三维模型数据库^[19]。该数据库提供了大量用于三维模型检索、分类和匹配的三维模型。分别进行了动物模型和杯子模型检索实验。

两组的实验结果分别如图 5、6 所示,每组分别对 4 个不同的模型进行了检索,检索结果只列出了与被检索模型距离最小的 10 个模型。从图 5、6 中,排在第一位的与被检索模型相同,就是被检索模型本身,而从左往右、从上到下与被检索模型的差别则越来越大。

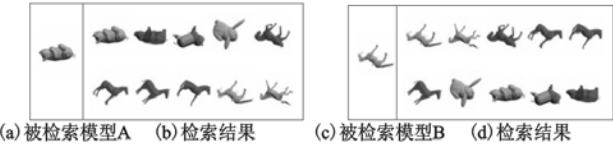


图5 动物模型检索实验结果

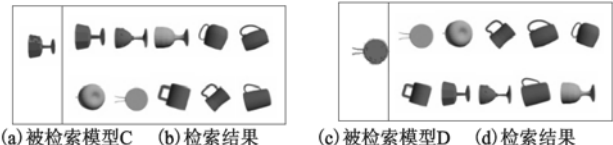


图6 杯子模型检索实验结果

图 7 为上面实验对应的距离曲线。其中横坐标 M_i 表示检索结果中的模型,纵坐标表示检索结果中各模型与被检索模型之间的距离。从图可以看出,相同模型之间的距离为 0,表示相似度最高;沿 x 轴方向距离依次增大,表示相似度越来越低。

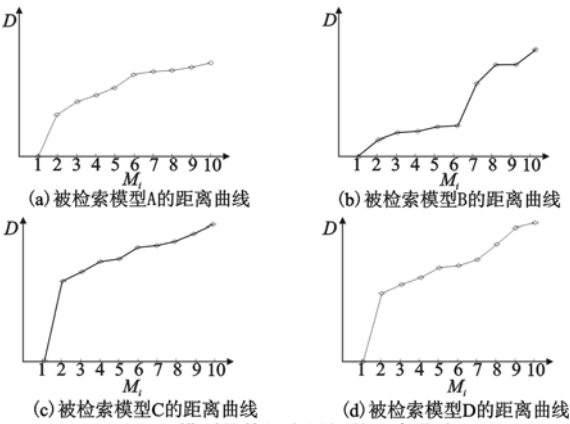


图7 模型的特征向量间的距离曲线

4 结束语

本文提出了一种基于剪裁截面的三维模型检索算法。该算法不受模型位置、比例、方向的影响。实验结果表明该算法能够得到理想的检索结果。该算法没有考虑到模型的拓扑结构,将在后续的研究中进行改进。

参考文献:

[1] MIN P, HALDERMAN A, KAZHDAN M, *et al.* Early experiences with a 3D model search engine [C]//Proc of the 8th International Conference on 3D Web Technology. New York: ACM Press, 2002: 7-18.

[2] 张欣, 莫蓉, 石源, 等. 一种三维模型形状检索描述符[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(5): 741-745.

[3] 杨育彬, 林琚, 朱庆. 基于内容的三维模型检索综述[J]. 计算机学报, 2004, 27(10): 1297-1310.

[4] KEIM D. Efficient geometry-based similarity search of 3D spatial databases [C]//Proc of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York: ACM Press, 1999: 419-430.

[5] KRIEGER H P, SCHMIDT T, SEIDL T. 3D similarity search by shape approximation [C]//Proc of the 5th International Symposium on Advance in Spatial Databases. London: Springer-Verlag, 1997: 11-28.

[6] KAZHDAN M, FUNKHOUSER T, RUSINKIEWICZ S. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors [C]//Proc of the 2003 Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Geometry Processing. Switzerland: Eurographics Association, 2003: 156-164.

[7] LI Zong-min, HOU Kun-peng, LIU Yu-jie, *et al.* The shape recognition based on structure moment invariants [C]//Proc of International Conference on Intelligent Computing. 2005: 1149-1158.

[8] VRANIC D V, SAUPE D. 3D model retrieval with spherical harmonics and moments [C]//Proc of the 23rd DAGM Symposium on Pattern Recognition. London, UK: Springer-Verlag, 2001: 392-397.

[9] 刘一. 基于几何内容的三维模型比较与检索算法研究[D]. 北京: 北京大学, 2006.

[10] VRANIC D V. An improvement of rotation invariant 3D shape descriptor based on functions on concentric spheres [C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. 2003: 757-760.

[11] MAHMOUDI S, DAOUDI M. 3D models retrieval by using characteristic views [C]//Proc of the 16th International Conference on Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE, 2002: 457-460.

[12] SONG J J, GOLSHANI F. Shape-based 3D model retrieval [C]//Proc of the 15th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence. 2003: 636-640.

[13] PASCUCCHI V, SCORZELLI G, BREMER P T, *et al.* Robust on-line computation of reeb graphs: simplicity and speed [J]. ACM Trans on Graphics, 2007, 26(3): 581-589.

[14] SUNDAR H, SILVER D, GAGVANI N, *et al.* Skeleton based shape matching and retrieval [C]//Proc of Shape Modeling and Applications Conference. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003: 130-139.

[15] PU Jian-tao, LIU Yi, XIN Gu-yu, *et al.* 3D model retrieval based on 2D slice similarity measurements [C]//Proc of the 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 95-101.

[16] 潘翔. 三维模型形状分析和检索[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.

[17] GOTTSCHALK S, LIN M, MANOCHA D, *et al.* OBBTree: a hierarchical structure for rapid interference detection [C]//Proc of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1996: 171-180.

[18] OHBUCHI R, OTAGIRI T, IBATO M, *et al.* Shape similarity search of three-dimensional models using parameterized statistics [C]//Proc of Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. Washington DC: IEEE Computer Society, 2002: 265-274.

[19] Princeton shape retrieval and analysis group [EB/OL]. <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>.