

基于主平面和两个次主平面的三维模型检索

姚 望,王军锋

(西安理工大学,陕西 西安 710054)

摘 要:近年来,随着三维模型在采集和建模方面的进步,三维模型检索技术也获得了显著的发展。为了提高三维模型的检索效率,文中在已有的单个主平面方法的基础上又提出了另外两个次主平面,并给出了这三个主平面系数的求解过程。文中所采用的基本方法是利用三维模型在主平面和两个次主平面上的投影图像进行特征提取,比单个主平面所提取的特征向量能够更准确地表示三维模型的形状特征。以此算法为基础,将二维的检索办法成功拓展到了三维模型当中。通过文中的实验可以得出主平面和两个次主平面共同使用的效果要远远好于单个主平面的三维模型检索结果。

关键词:三维模型检索;次主平面;特征提取

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-0018-04

3D Models Retrieval Using Principal Plane and Two Subordiantion Planes

YAO Wang, WANG Jun-feng

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In recent years, with the significant advances in 3D of acquisition and modeling, 3D model retrieval has gained significant success. For the efficiency of improving 3D model retrieval, the other two subordiantion planes are proposed based on single principal plane, and the solution process of the coefficient of three planes is also given. Since the three projected pictures can be more exactly to show the feature of 3D model, get better feature extraction than that of the single principle plane. Using the algorithm, it can extend the retrieval algorithm from 2D to 3D. The experimental results show the retrieval efficiency of the principal and two subordiantion planes is better than the single principal plane.

Key words: 3D models retrieval; subordiantion plane; feature extraction

0 引 言

日常生活中三维模型的应用领域越来越多,时代的发展人们对三维模型的重视程度也不断提高。利用主平面法提取特征的本质是一种基于视觉特征提取检索的办法。是将一个三维模型投影到二维平面上,通过利用二维里已有的办法去解决三维中未解决的问题。传统的基于视觉的特征提取算法关键在于如何选择合适的视觉点,通过利用主平面法去分析,该问题便迎刃而解。针对一个主平面容易造成数据信息丢失的问题,文中提出了增加两个次主平面的方法加以改进。

1 主平面和两个次主平面

1.1 主平面及其系数的计算

在三维模型中,主平面是用来提取三维模型特征

的一个基本平面^[1]。定义:三维模型所有表面上的点到此平面的距离之和最小的那个面就是主平面^[2]。

根据定义三维模型的主平面应该是到主平面的所有深度值当中平方和最小的那个平面,设 S^3 是三维模型上所有的点, E 是三维模型中过所有质心的平面,那么主平面 E 可由公式(1)得出:

$$\begin{aligned} E &= \min_{\vec{c} \in S^3} \delta(\vec{c}, E) \\ &= \min_{\vec{c} \in S^3} \sum \|\vec{c} - \vec{c}'\|^2 \\ &= \min \sum_{(x,y,z) \in S^3} \sum (Ax + By + Cz)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

对 A 、 B 、 C 求导,让其全为0有:

$$\begin{aligned} m_{2,0,0}A + m_{1,1,0}B + m_{1,0,1}C &= 0 \\ m_{1,1,0}A + m_{0,2,0}B + m_{0,1,1}C &= 0 \\ m_{1,0,1}A + m_{0,1,1}B + m_{0,0,2}C &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

上式中 $m_{s,t,u}$ 是三维模型的几何矩,

$$m_{s,t,u} = \sum \sum_{(x,y,z) \in S^3} x^s y^t z^u \quad (3)$$

其中 s, t, u 只能是0,1,2,根据公式(2)和(3)得出公式(4):

收稿日期:2012-01-17;修回日期:2012-04-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61075007)

作者简介:姚 望(1986-),男,硕士,研究方向为小波分析;王军锋,副教授,研究方向为小波分析及其应用。

$$\begin{aligned}\frac{A_1}{B_1} &= \frac{m_{0,2,0}m_{1,0,1} - m_{1,1,0}m_{0,1,1}}{m_{2,0,0}m_{0,1,1} - m_{1,1,0}m_{1,0,1}} = k_E \\ \frac{C_1}{B_1} &= \frac{m_{0,2,0}m_{1,0,1} - m_{0,1,1}m_{1,1,0}}{m_{0,0,2}m_{1,1,0} - m_{0,1,1}m_{1,0,1}} = h_E\end{aligned}\quad (4)$$

平面 E 的法向量 $\mathbf{i} = (A, B, C)$ 是单位矢量, 因此 $A^2 + B^2 + C^2 = 1$, 将其代入公式(4)中便可得出主平面 E 的单位法向量 $\mathbf{i} = (A, B, C)$ 即公式(5)。

$$\mathbf{i} = \left(\frac{k_E}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}}, \frac{1}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}}, \frac{h_E}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}} \right) \quad (5)$$

根据上面确定主平面系数的过程中知道所求的主平面本质上是与三维模型的位置即所在坐标系没有直接关系的, 仅仅只与三维模型本身的性质有关。

主平面还具有一个很重要的性质, 就是三维模型的重心位于主平面 E 上^[1]。

图1就是三维模型的主平面的示意图。

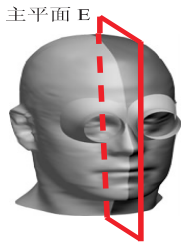


图1 三维模型主平面的示意图

1.2 两个次主平面及其系数的确定

我们能明显的感觉到利用单个主平面去分析问题往往不是很全面, 它只能在一个平面上进行投影, 与此同时却丢失了其它位置和方向上的数据信息, 会影响其检索的准确程度。所以文中在研究了单个主平面之后, 在此基础上提出了另外两个次主平面, 也就是通过一个主平面和二个子主平面来控制 and 提取特征, 从而达到所满意的效果。

为了得到两个次主平面, 首先将三维模型 S^3 做旋转变换, 要求满足第一次主平面与主平面是相互垂直的。让坐标系的 XOY 平面与主平面重合起来, 这样就可以得到过 Z 轴的第一个次主平面 E_1 , 同时要满足三维模型 S^3 上所有的点到第一次主平面 E_1 的距离之和是最小的。

把与 Z 轴正方向平行的单位向量 $(0, 0, 1)$ 与主平面的法向量 $\mathbf{i} = (A, B, C)$ 做积, 便可以得出旋转角度 θ , 其中 $0 \leq \theta \leq \pi$, 设经过单位化之后的旋转轴是 (p_1, p_2, p_3) , 那么三维模型 S^3 绕着该轴 (p_1, p_2, p_3) 进行旋转 θ 之后便得到了旋转矩阵 \mathbf{R} , 如公式(6)。

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\theta + (1 - \cos\theta)p_1^2(1 - \cos\theta)p_1p_2 + (\sin\theta)p_3(1 - \cos\theta)p_1p_3 - (\sin\theta)p_2 \\ (1 - \cos\theta)p_2p_1 - (\sin\theta)p_3 \cos\theta + (1 - \cos\theta)p_2^2(1 - \cos\theta)p_2p_3 + (\sin\theta)p_1 \\ (1 - \cos\theta)p_3p_1 + (\sin\theta)p_2(1 - \cos\theta)p_2p_3 - (\sin\theta)p_1\cos\theta + (1 - \cos\theta)p_3^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据旋转矩阵 \mathbf{R} 与原始模型 S^3 的乘积可得出旋转后的三维模型 S_1^3 , 从三维模型的顶点到平面 E_1 距离之和最小的平面就是所求的第一次主平面 E_1 , 其方程可以表示为公式(7)。

$$E_1 = \min \delta(S_1^3, E) = \min_E \sum_{(x', y', z') \in S_1^3} (A_1 x' + B_1 y')^2 \quad (7)$$

上式中 A_1 是第一次主平面 E_1 中 x 的系数, 而 B_1 是 E_1 中 y 的系数, z 的系数则为 0, 并且 (x', y', z') 表示的是三维模型 S^3 进行旋转变换后的三维模型 S_1^3 上任意的一点。

对公式(7)分别对 x, y 和 z 做微分并化简有:

$$\begin{aligned}m'_{2,0,0}A_1 + m'_{1,1,0}B_1 &= 0 \\ m'_{1,1,0}A_1 + m'_{0,2,0}B_1 &= 0\end{aligned}\quad (8)$$

在公式(8)中, $m'_{s,t,u}$ 可表示为:

$$m'_{s,t,u} = \sum \sum_{(x', y', z') \in S_1^3} (x')^s (y')^t (z')^u \quad (9)$$

其中 s, t, u 只能是 0, 1 或 2。将 $m'_{s,t,u}$ 代入到公式(8)中有:

$$\frac{A_1}{B_1} = \frac{-m'_{1,1,0}}{m'_{2,0,0}} = k_{E_1} \quad (10)$$

因为 $\mathbf{i}_1 = (A_1, B_1, C_1)$ 是单位法向量, 所以 $A_1^2 + B_1^2 + C_1^2 = 1$ 而其中 C_1 是 0, 这样就得到了第一次主平面 E_1 的单位法向量的公式(11):

$$(A_1, B_1, 0) = \left(\frac{k_{E_1}}{\sqrt{1 + k_{E_1}^2}}, \frac{1}{\sqrt{1 + k_{E_1}^2}}, 0 \right) \quad (11)$$

因为主平面与两个次主平面要求相互垂直, 所以就可以通过主平面和第一次主平面把第二次主平面求出来了。设第二次主平面为 E_2 , 并设它的单位法向量为 $\mathbf{i}_2 = (A_2, B_2, C_2)$, 通过 $A_2^2 + B_2^2 + C_2^2 = 1$ 与 $E_1 \perp E_2$, $E \perp E_1$ 求出 (A_2, B_2, C_2) 。

让主平面 E 和第一次主平面 E_1 的单位法向量去做向量积, 就可得出第二次主平面 E_2 的单位法向量。

$$\begin{aligned}\mathbf{i}_2 &= \left(\frac{-h_E}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}} \bullet \frac{1}{\sqrt{1 + k_{E_1}^2}}, \right. \\ &\quad \frac{h_E}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}} \bullet \frac{k_{E_1}}{\sqrt{1 + k_{E_1}^2}}, \\ &\quad \frac{k_E}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}} \bullet \frac{1}{\sqrt{1 + k_{E_1}^2}} - \\ &\quad \left. \frac{1}{\sqrt{1 + k_E^2 + h_E^2}} \bullet \frac{k_{E_1}}{\sqrt{1 + k_{E_1}^2}} \right) \quad (12)\end{aligned}$$

这样,就求出了三维模型用来投影的主平面和两个次主平面。

图 2 中的 E 的图表示在主平面上的投影,而 E_1, E_2 所对应的图是在两个次主平面上的投影。可以很明显的发现,主平面和两次主平面结合使用能更加全面地表现三维模型的数据信息,减少了数据的丢失,能更强地表现三维模型的原型,要比单个主平面去描述三维模型的数据信息要好的多,在以后做匹配工作的时候能达到更加准确的效果。

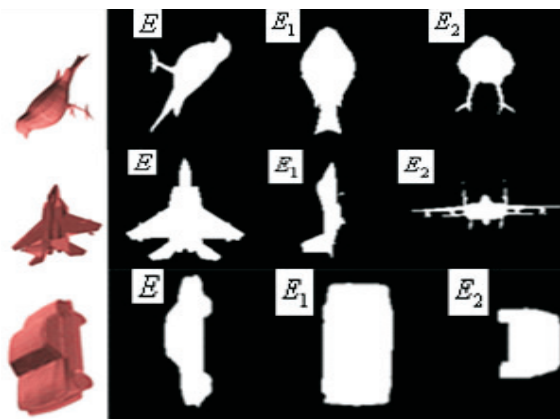


图 2 三维模型在主平面和两个次主平面上的投影

2 特征提取

Ankerst^[2]利用三种切分方式去分割,通过统计被分割之后每个小单元格中三维模型顶点的个数获得其统计直方图^[3],再利用对统计直方图的运算去求其相似度,从而可以达到检索的目的^[4]。下面就利用扇形分割来提取特征向量。

2.1 投影的扇形分割

因为扇形分割可以保证三维模型的缩放不变性^[5],所以只需要对待检索的三维模型做平移变换和旋转变换。把经过预处理后的三维模型做主平面和两个次主平面上的投影,这样便得到了三幅投影图像。因为主平面和两个次主平面是两两相互垂直的,所以让主平面与平面 XOY 重合,而让另外两个次主平面分别与平面 XOZ 和平面 YOZ 重合。这样便得到了主平面 XOY 和两个次主平面 XOZ 和 YOZ 上由一系列像素点所组成的投影图像了。

下面就以一个猪的三维模型作为例子,做主平面和两个次主平面上的投影并对其进行扇形分割。

因为三维模型的重心在主平面上,让重心与坐标原点重合,这样三个投影图像分别在平面 XOY 、平面 XOZ 和平面 YOZ 上。将扇形的顶点与猪的重心重合做分割,这样做的好处是能够让每个扇形区域的像素点的个数分布相对均匀,方便对特征的提取和匹配^[6]。

如图 3 是经过规范化处理之后的猪的三维模型投影到主平面和两个次主平面上做扇形分割的图像。这样就完成了第一步对三维模型投影及分割的工作。

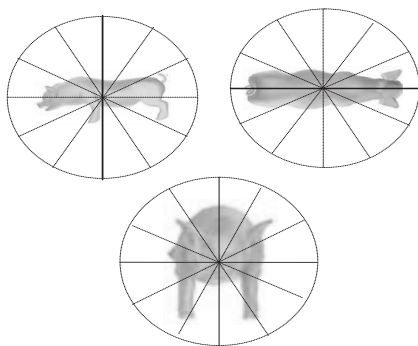


图 3 扇形分割的猪的投影图

2.2 特征向量的提取

文中采用最大距离的方法来提取投影图像上像素点的分布情况。

先对投影图像用最大包围的办法做分割^[7],把主平面上投影的图像分割成面积相等的 N 个小扇形,再在每一个小扇形当中去提取出一个想要的特征,那么这 N 个小扇形便能够提取出 N 个特征向量。再在这个扇形中寻找距离顶点最远的像素点,并提取这个像素点与顶点的距离值,这就是要找的最大距离。

1) 投影图像的扇形分割。

将三维模型的重心作为扇形分割的圆心,即每个小扇形的顶点,以距离圆心最远的像素点到圆心即最大距离为半径做圆,再以固定的角度等面积分割此圆,将投影图像分割成 N 个面积相同的小扇形^[8]。然后我们分别取 $N = 12, 24, 36, 48 \dots$,这样主平面上投影的像素点就被分割在了不同的小扇形区域内了。

2) 提取每一个小扇形当中的特征。

在每一个小扇形中找距离扇形顶点最远的像素点,这样遍历每一个小扇形^[9],就可以在每一个小扇形中找到到扇形顶点距离最远的像素点,并将它们的最大距离记为 Max_i (其中 $i = 1, 2, \dots, N$)。

3) 对两个次主平面也做上面同样的特征提取工作,这样就得到了三组由 N 个最远距离所组成的三个特征向量^[10],将主平面上所提取的特征向量记为 $Max_0(x_1, x_2, \dots, x_N)^T$,而两个次主平面上所提取的特征向量分别记为 $Max_1(x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ 和 $Max_2(x_1, x_2, \dots, x_N)^T$,这样就得到了三维模型的形状描述符。

3 相似度匹配

用欧式距离来计算两个特征向量之间的距离。每个三维模型在主平面和两个次主平面上做投影后共得到三幅投影图像,让两个主平面进行匹配,再让待检索

模型的两个次主平面与模型库中模型的两个次主平面匹配 2^2 次,共 5 次距离计算^[11]。下面设待查询的三维模型 M 主平面上的特征向量为 Max_0 ,两个次主平面上的特征向量分别为 Max_1 和 Max_2 ,而数据库中的三维模型 N 在主平面上的特征向量为 Max_0^* ,两个次主平面上的特征向量分别为 Max_1^* 和 Max_2^* ,设两个主平面之间的距离为 d_0 ,设两个模型中各取一个次主平面进行距离计算的表示为 d_i (其中 $i = 1, 2, 3, 4$),则分别表示为公式(13) 和(14)。

$$d_0 = \sqrt{(Max_0 - Max_0^*)^2}$$

(13)

$$d_i = \sqrt{(Max_p - Max_q^*)^2}$$

(14)

其中 $p, q = 1$ 或 2 。

对这两个距离做加权平均,

$$\bar{D}_i = \frac{d_0 + d_i}{2}$$

(15)

则待查询的三维模型 M 与数据库中的三维模型 N 的距离可以表示为:

$$D_{M,N} = \min_{1 \leq i \leq 4} \bar{D}_i$$

(16)

$$Sim_{\text{扇形}} = \frac{1}{D_{M,N}}$$

(17)

也就是说 $Sim_{\text{扇形}}$ 越大,则相似度越高。按照 $Sim_{\text{扇形}}$ 从大到小的顺序排列,这样就得到了三维模型的相似性序列^[12]。

4 实验结果与对比分析

4.1 实验结果

图 4 是待检索的三维模型,而图 5 是用文中的方法检索出来,并按相似度由高到低排列的结果。



图 4 待检索的模型

而用单个主平面所提取的特征向量检索的结果中却有 4 个是鸟类,见图 6。

从结果能看出来,文中算法的查准率为 100%,而单个主平面法的查准率为 60%,因此文中算法的检索结果比单个主平面的效果好。

4.2 对比分析

单个主平面只能保证一个方向上的特征,而另外两个次主平面则保证了其他面上的数据不丢失。在利用单个主平面所检索的结果中,鸟类的三维模型也被检索到是因为鸟类的主平面和飞机的主平面较接近。而利用主平面和两个次主平面,虽然它们的主平面较接近,但次主平面有很大区别,这样检索的时候就不会被检索出来。

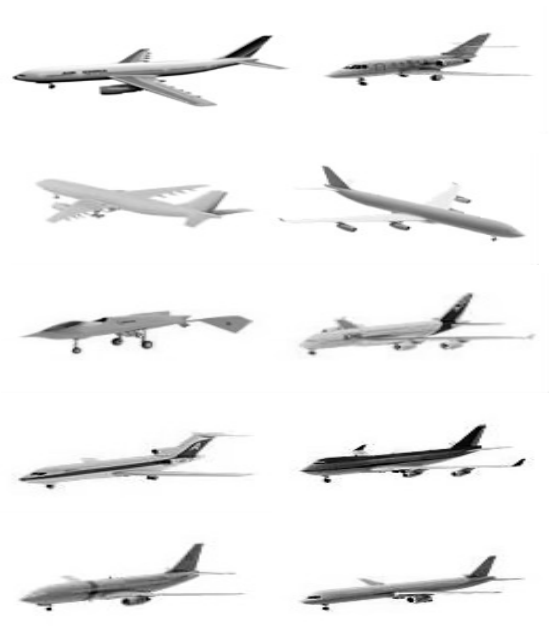


图 5 用文中算法检索的结果



图 6 单个主平面的检索结果

通过这样的改进在二维中提取特征向量的方法,现在在三维中可通过先用主平面和次主平面投影后再提取,所以其实文中的意义更多的是二维向三维扩展的重要一步。

5 结束语

文中针对以前的只有单个主平面的投影办法,提出了另外两个次主平面,这样三维模型在投影的时候,就可以从三个不同的面得到其投影图像,这样能更好地保留三维模型的形状特征,并给出了另外两个次主平面系数的求解过程。与扇形分割法结合,并做了相应的实验,得出的结论也相对满意。文中成功地将二维的检索办法推广到了三维模型检索中。

参考文献:

[1] Kuo Chen-Tsung, Cheng Shyi-Chyi. 3D model retrieval using principal plane analysis and dynamic programming[J]. Pattern, 2007, 40(1): 283-295.

[2] 杨育彬,林 琿,朱 庆. 基于内容的三维模型检索综述[J]. 计算机学报, 2004, 21(27): 86-91.

GL 实现。

大规模地形数据顶点数量为 $16384 * 16384$, 纹理数据的分辨率为 $16384 * 16384$, 将其中的纹理数据组织为 $32 * 32$ 共 1024 块 $512 * 512$ 像素的 24 位 BMP 图像。绘制速度在 30 帧/秒。图 5 给出 clipmap 网格效果图, 图 6 给出总体效果图。

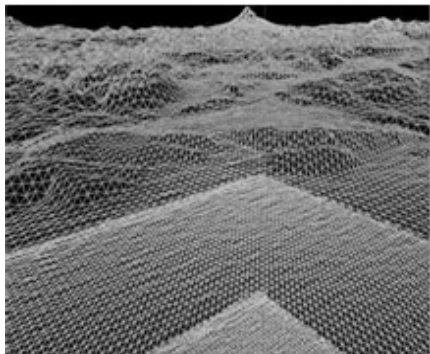


图 5 地形数据 clipmap 结构网格绘制效果

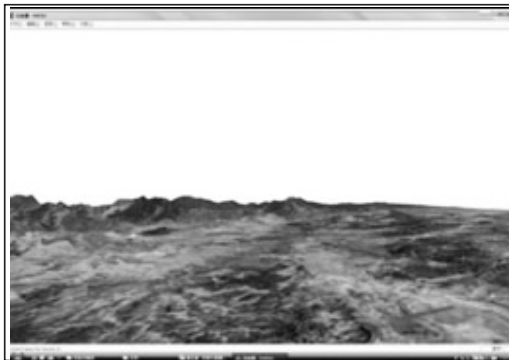


图 6 网格与纹理综合效果

5 结束语

文中给出一种基于 clipmap 结构的海量地形几何及纹理实时绘制方法, 通过统一 clipmap 结构, 加快了几何数据的更新效率, 提高绘制速度。同时针对纹理

数据量大的问题, 给出一种基于缓冲区的纹理调度方法。实验表明, 文中方法较好地海量地形几何数据与纹理数据进行实时绘制。

参考文献:

- [1] Losasso F, Hoppe H. Geometry Clipmaps: Terrain Rendering Using Nested Regular Grids[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 769-776.
- [2] Williams L. Pyramidal Parametrics[J]. Computer Graphics, 1983, 17(3): 1-11.
- [3] Asirvatham A, Hoppe H. GPU GEM 2[M]. [s. l.]: Addison-Wesley, 2005.
- [4] Seoane A, Taibo J, Hernández L. Hardware-independent Clipmapping[J]. Journal of WSCG, 2007, 15(1-3): 177-185.
- [5] Livny Y, Sokolovsky N, Grinshpoun T. Persistent Grid Mapping: A GPU-based Framework for Interactive Terrain Rendering[J]. The Visual Computer, 2008, 24(2): 139-153.
- [6] 康宁, 徐青, 周杨. 一种基于图形硬件的海量地形实时可视化算法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(17): 3988-3992.
- [7] 袁建锋, 崔铁军, 姚慧敏. 一种基于 GPU 的大规模地形实时生成算法[J]. 海洋测绘, 2009, 29(1): 35-38.
- [8] 王春, 马纯永, 陈戈. 基于 GPGPU 的海量山地地形数据的实时绘制算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(8): 2105-2108.
- [9] 张浩. 不对称的 GeometryClipmap 算法[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [10] 张莉, 唐立文. 基于四叉树的海量空间数据无缝组织研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(1): 77-81.
- [11] 白皓, 龚光红, 丁莹. 基于 Clipmap 的大规模地形可视化技术研究[J]. 中国体视学与图像分析, 2009, 14(2): 202-209.
- [12] 吴颖, 张新家, 茹芬. 基于四叉树分割的连续 LOD 漫游地形绘制[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4): 5-9.

(上接第 21 页)

- [3] 欧阳彝华, 黄芳, 周敏. 基于灰度直方图的肝脏图像检索[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 125-127.
- [4] Du Yajuan, Pan Quan, Zhang Hongcai. Application of a new moment invariant features on image recognition[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 1999, 31(10): 71-85.
- [5] 李鑫环, 陈立潮. 基于多小波分析与 SOFM 的 MR 图像分割算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 104-107.
- [6] Yang Yubin, Lin Hui, Zhu Qing. Content-based 3D model retrieval[J]. Chinese Journal of Computer, 2004, 27(10): 1298-1310.
- [7] Ankerst M. 3D Shape Histograms for Similarity Search[C]//SSD'99. Hong Kong: [s. n.], 1999: 207-226.

- [8] 张鑫, 陈梅, 王翰虎, 等. 基于视觉特征和领域本体的 Web 信息抽取[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(2): 58-61.
- [9] 于二丽, 周宁宁. 基于 Hausdorff 距离的图像匹配并行算法设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 28-31.
- [10] 王冠, 丁友东, 魏小成. 基于改进 Sobel 算子的文物图像检索[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(10): 51-54.
- [11] Ankerst M, Kastenmuller G. 3D Shape Histograms for Similarity Search and Classification in Spatial Databases[C]//SSD'99. London: Springer-Verlag, 1999: 207-226.
- [12] 崔晨旸. 三维模型检索中关键技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.

基于主平面和两个次主平面的三维模型检索

作者: [姚望, 王军锋](#)
作者单位: [西安理工大学, 陕西 西安 710054](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201210007.aspx