

基于二维投影点集的三维模型检索算法研究

赵仲孟, 聂丽娜, 张选平

(西安交通大学 电信学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 本文给出一种基于二维投影点集的三维模型检索算法. 该算法利用二维投影点集边界点, 给出一种结合夹角信息的二维投影轮廓特征提取算法, 简单有效地刻画三维模型外围轮廓; 同时还利用二维投影点集内部点, 给出一种剖面特征提取算法, 反映三维模型空域信息. 实验结果表明该算法在保证检索效率的同时, 显著提高三维模型的检索准确性.

关键词: 三维模型检索; 二维投影; 轮廓特征; 剖面特征

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)01-0143-05

Research on 3D Model Retrieval Based on 2D Projection Point Set

ZHAO Zhong-meng, NIE Li-na, ZHANG Xuan-ping

(College of Electronic and Information, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper proposes a 3D model retrieval algorithm based on 2D projection point set, and gives an angle integrated 2D projection contour feature extraction algorithm by use of the boundary points of 2D projection point set, which depicts the peripheral contour of the 3D model in simple and effective way. At the same time, a profile feature extraction algorithm is given by use of the inside points of 2D projection point set, which reflects the spatial information of 3D model. The experimental results show that the algorithm can ensure the retrieval efficiency and significantly improve the accuracy of 3D model retrieval at the same time.

Key words: 3D model retrieval; 2D projection; contour feature; profile feature

1 引言

近年来随着三维数据技术的发展, 三维模型广泛应用于多个领域. 为充分利用已有三维模型资源, 就需要研究有效的三维模型检索策略^[1]. 一般来说, 三维模型的相似与否取决于人的视觉感受, 如果人眼从各个角度观察的两个三维模型外形都相似, 则认为这两个三维模型相似^[2]. 因此, 三维模型检索技术的一种重要思路就是将三维模型转化成二维投影图像^[3], 既符合人眼视觉特征, 又降低问题复杂度.

文献[4]提出的一种基于三维模型二维轮廓图的检索方法, 由于视点较多且提取了每个视点轮廓图像的旋转不变特征描述符, 是目前效果比较好的特征提取算法. 然而, 该方法时间消耗比较大, 不利

于在线实时检索. 在特征提取时, 只考虑了轮廓信息而忽视了轮廓内点的信息, 会造成一定程度的误匹配.

本文针对以上问题提出了一种基于二维投影点集的三维模型特征提取算法.

2 特征提取及相似性匹配

本文基于二维投影点集的三维模型检索算法的方案如图 1 所示. 系统对用户提交的检索模型进行预处理, 然后对其进行正交投影和深度投影, 从正交投影点集提取轮廓特征(距离和夹角特征的加权融合), 从深度投影点集提取剖面特征, 之后再对这两种特征进行加权融合来进行相似性匹配.

收稿日期: 2012-05-09; 修回日期: 2012-06-18

基金项目: 国家教育部博士点基金项目(20100201110063)

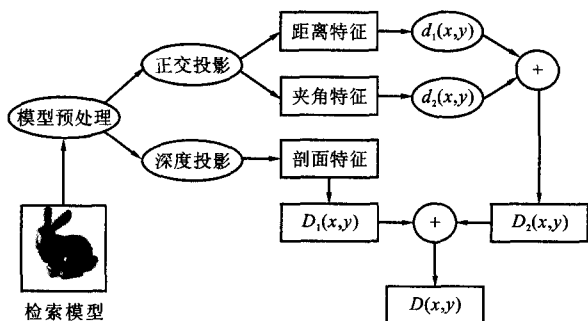


图1 本文三维模型检索算法方案

2.1 三维模型预处理

本文算法是通过逐一比较三维模型对应角度下投影的相似性来获得模型整体相似性。因此在投影前,必须对模型进行坐标标准化预处理,使模型的坐标对齐,避免平移、旋转、缩放等因素对特征提取及相似性匹配带来的影响。为保证平移不变性,需要将模型的质心平移到坐标原点的位置;为保证旋转不变性,采用PCA变换方法^[5],在一个标准坐标面中对齐模型;为保证方位不变性,需要进行翻转变换;为保证尺度不变性,将旋转后的三维模型归一化到标准单元大小。一个完整的坐标标准化过程可以表示为如下的几何变换:

$$V' = \{v | v = s^{-1}FR(v-c), v \in V\}$$

其中, S 是缩放系数, F 是一个对角阵形式的翻转矩阵, R 为对应于PCA变换的旋转矩阵, V 是原始模型坐标, C 是坐标原点。

2.2 模型投影

基于人眼的视觉特征,本文提取模型六个正交投影视图的轮廓特征,这样可以获得更丰富的模型信息,对于非对称物体有更好的表达。由于本文提到的剖面来源于投影面模拟切割模型,借助于距离—灰度映射思想来获取剖面点,即点到坐标面的距离越近,点落在剖面上的可能性就越大。直观上来看,剖面没有方向信息,因此本文对模型采用三视图正交深度投影来提取剖面及剖面特征。

2.2.1 三维模型六视图正交投影

对预处理之后的三维点云模型沿着 X 轴、 Y 轴和 Z 轴的正负6个固定角度进行正交投影,即把模型分别投影在面 YOZ 、面 XOZ 、面 XOY 的正反两面上,设预处理之后的离散点为 $p_i(x_i, y_i, z_i)$,则三维模型六视图正交投影过程如下:

$X+$ 方向投影:投影 $x_i \leq 0$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p_i(y_i, z_i)$

$X-$ 方向投影:投影 $x_i \geq 0$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p_i(y_i, z_i)$

$Y+$ 方向投影:投影 $y_i \leq 0$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p_i(x_i, z_i)$

$Y-$ 方向投影:投影 $y_i \geq 0$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p_i(x_i, z_i)$

$Z+$ 方向投影:投影 $z_i \leq 0$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p_i(x_i, y_i)$

$Z-$ 方向投影:投影 $z_i \geq 0$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p_i(x_i, y_i)$

2.2.2 三维模型深度投影

在刻画剖面时,只考虑灰度比较小的投影点。将预处理之后的三维点云模型分别投影在 YOZ 、 XOZ 、 XOY 面上,在投影时,计算每个投影点到投影面的距离 d ,根据这个距离映射出每个投影点的灰度,其中灰度级别设为 $0 \sim 255$ 。映射原则是:点的灰度与其到投影面的距离成正比,即离投影面越近的点灰度值越小,否则,反之。

设对模型 A 来说,预处理后的离散点为 $p_i(x_i, y_i, z_i)$,遍历这些点,分别找到正负坐标绝对值最大的 X, Y, Z 正负坐标,记为: $\text{Max}|x_+|$ 和 $\text{Max}|x_-|$, $\text{Max}|y_+|$ 和 $\text{Max}|y_-|$, $\text{Max}|z_+|$ 和 $\text{Max}|z_-|$ 。记 $R_1 = \text{Max}(\text{Max}|x_+|, \text{Max}|x_-|)$, $R_2 = \text{Max}(\text{Max}|y_+|, \text{Max}|y_-|)$, $R_3 = \text{Max}(\text{Max}|z_+|, \text{Max}|z_-|)$,则三维模型三视图正交深度投影过程如下:

XOY 面:若点 P_i 到投影面的距离为 $d_i = |z_i|$,则其灰度为 $f_i = (\text{int})(d_i/R_3) * 255$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p'_i(x_i, y_i, f_i)$

XOZ 面:若点 P_i 到投影面的距离为 $d_i = |y_i|$,则其灰度为 $f_i = (\text{int})(d_i/R_2) * 255$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p'_i(x_i, z_i, f_i)$

YOZ 面:若点 P_i 到投影面的距离为 $d_i = |x_i|$,则其灰度为 $f_i = (\text{int})(d_i/R_1) * 255$,即 $p_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow p'_i(y_i, z_i, f_i)$

2.3 特征提取

2.3.1 结合夹角信息的二维投影轮廓特征提取

首先找到二维投影轮廓每个采样段的显著特征点,即轮廓最远凸点和最近凹点,利用距离和夹角两个因素刻画特征点的位置信息,从而准确拟合了投影轮廓。该算法步骤如下:

Step1:对投影视图的最小外包圆进行扇形切分:投影视图的最小外包圆的中心为坐标系原点,半径为投影离散点到中心的最远距离。然后等弧度将该圆切分成 N 个扇形区域。

Step2:扇形区域投影点归类:对扇形区域的 k 个投影点按照弧度进行归类,将弧度相同的点归为

一类.假设得到 n 个类,记为 $C_j (j=1,2,\dots,n)$.

Step3:求出每类中点到投影中心的最远距离:遍历每个类 C_j 中的点,计算点到投影中心的距离 d_j . d_j 越大的点在这个弧度上就越靠近投影轮廓,比较这些距离 d_j ,记最远距离 $\text{Max}C_j = \text{MAX}(d_j)$.

Step4:找到扇形区域轮廓最远凸点和最近凹点:由于取得 $\text{Max}C_j$ 的点表示扇形区域中在某个弧度上的投影轮廓点,因此只用比较这些 $\text{Max}C_j$, $\text{Max}C_j$ 最大的点 $V_{\max}(\rho_{\max}, \theta_{\max})$ 为扇形区域中的投影轮廓最远凸点, $\text{Max}C_j$ 最小的点 $V_{\min}(\rho_{\min}, \theta_{\min})$ 为扇形区域中的投影最近凹点,这两个特征点到投影中心的距离就构成了该扇形区域的距离特征向量,这两个特征点与投影中心连线构成的向量与相邻扇形边的夹角就构成了该扇形区域的夹角特征向量.

Step5:扇形区域距离和夹角特征的提取:记扇形区域的最远距离和最近距离分别为 DistanceMAX_i 和 DistanceMIN_i ,最远距离夹角和最近距离夹角分别为 $\text{DistanceMAX}\theta_i$ 和 $\text{DistanceMIN}\theta_i$,则

$$\begin{cases} \text{DistanceMAX}_i = \text{MAX}(\text{Max}C_j) \\ (i=1,2,\dots,N, j=1,2,\dots,n) \\ \text{DistanceMIN}_i = \text{MIN}(\text{Max}C_j) \\ (i=1,2,\dots,N, j=1,2,\dots,n) \end{cases}$$

N 个扇形区域有 N 个扇形边界,每个扇形区域较大的弧度边界记为: $F_i = \{\beta, 2\beta, \dots, N * \beta\}$,则第 i 个扇形区域的最远距离向量和最近距离向量与其所处扇形区域的边界夹角分别为:

$$\begin{cases} \text{DistanceMAX}\theta_i = |\theta_{i\max} - F_i| \\ \text{DistanceMIN}\theta_i = |\theta_{i\min} - F_i| \end{cases}$$

依次记录下每个扇形区域的最远距离和最近距离,这样就构成了一个投影视图的距离特征向量,统一标识为:

$$\text{Distance}_i = \{\text{DistanceMAX}_1, \text{DistanceMIN}_1, \dots, \text{DistanceMAX}_N, \text{DistanceMIN}_N\}$$

依次记录下每个扇形区域的最远距离向量和最近距离向量与其所处扇形区域的边界夹角,这样就构成了一个投影视图的夹角特征向量,统一标识为:

$$\text{Distanc}\theta_i = \{\text{DistanceMAX}\theta_1, \text{DistanceMIN}\theta_1, \dots, \text{DistanceMAX}\theta_N, \text{DistanceMIN}\theta_N\}$$

2.3.2 剖面特征提取

点到切割面的距离越近,则这些点越有可能落在剖面上.由于在对模型的深度投影时进行了距离-灰度映射,因此二维投影点集中灰度越小投影点落在剖面上可能性越大.

二维投影点集的剖面特征提取算法过程如下:

Step1:计算得到组成剖面的点集:将一个二维投影视图中的所有点按灰度由小到大排序,设定比例阈值 $\lambda\%$,认为灰度值在前 $\lambda\%$ 的点最有可能落在切割剖面上,满足这样灰度条件的点集 $V_i(x_i, y_i, f_i)$ 就组成了剖面.

Step2:找到剖面的最小外包圆并进行扇形切分:遍历 $V_i(x_i, y_i, f_i)$ 中的所有点,计算点到投影中心的距离,用最远的距离为半径绕投影中心画圆,然后将外包圆进行扇形切分,切分个数为 N .

Step3:构造扇形区域的参数方程:遍历一个扇形区域中的所有点,计算点与圆心的距离 d_i ,找到距离的最大最小值,分别记为: $\max_i$ 和 $\min_i$.然后用扇形区域包含的点的统计信息来构造扇形格子的参数方程:

$$Z_i = \max_i + i \min_i, i \text{ 表示第 } i \text{ 个扇形区域.}$$

对投影视图的所有扇区做上述操作,则得 N 个参数方程,如: $\{Z_0, Z_1, \dots, Z_{N-1}\}$.

Step4:对剖面扇形区域参数方程进行傅里叶分解:对 N 个参数方程进行傅里叶变换,使每个参数方程成为 N 个频率由低到高的三角函数之和,如下所示:

$$Z(k) = \sum_{n=0}^{N-1} Z_n \exp(i \frac{-2\pi kn}{N}), k=0, \dots, N-1$$

其中 $Z(k) = Z_k = \max_k + i \min_k$,是参数方程的另一种表现形式.变换后的序列为:

$$\begin{cases} Z(0) = Z_0 + Z_1 + \dots + Z_{N-1} \\ Z(1) = Z_0 e^0 + Z_1 e^{-2\pi i/N} + \dots + Z_{N-1} e^{-2\pi i(N-1)/N} \\ \dots \\ Z(N-1) = Z_0 e^0 + Z_1 e^{-2\pi i(N-1)/N} + \dots + Z_{N-1} e^{-2\pi i(N-1)(N-1)/N} \end{cases}$$

Step5:构造剖面旋转不变特征描述符:傅里叶函数的 L_2 范数对于旋转具有不变性,即取傅里叶函数的振幅值就可以构造出旋转不变性的特征描述符.剖面图的旋转不变特征表示为:

$$F = \{\|Z(0)\|, \|Z(1)\|, \dots, \|Z(N-1)\|\}$$

经过这样的步骤,一个剖面图就可用 N 维旋转不变的特征描述子来表示.

2.4 多特征加权相似性匹配

相似性匹配算法就是计算用户提交的检索对象和三维模型库中模型之间的特征向量的欧式距离,相似的三维模型应该具有相近的距离.本文提取出的特征向量有轮廓特征向量和剖面特征向量,其中

轮廓特征向量又包括距离特征向量和夹角特征向量. 这些特征向量物理意义不同, 因此采用多特征加权思想来进行特征融合, 即对三维模型分别采用不同的特征描述符计算出相似距离, 然后对距离加权求和.

为保证按不同特征向量计算出的距离在同一值域内, 首先对特征向量进行归一化操作:

$$\begin{cases} \text{Distance}'_{ij} = \text{Distance}_{ij} / R_i \\ \text{Distance}\theta'_{ij} = \text{Distance}\theta_{ij} / \beta_i \\ F'_i = F_i / \max_i \end{cases}$$

其中, Distance_{ij} 和 $\text{Distance}'_{ij}$ 分别是归一化前、后的轮廓最远最近距离特征向量; R_i 是每个正交投影图像的最小外包圆半径; $\text{Distance}\theta_{ij}$ 和 $\text{Distance}\theta'_{ij}$ 分别是归一化前、后的轮廓夹角特征向量; β_i 是扇形切分时的间隔角度; F_i 和 F'_i 分别是归一化前、后的剖面特征向量; $\max_i$ 表示第 i 个剖面的最大振幅特征向量.

对 X, Y 两模型的一组对应视图的三种特征向量分别按照欧式度量公式来计算相似距离:

$$\begin{cases} \text{dislen1}(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{2 \times N} (\text{Distance}'_{X'_{1i}} - \text{Distance}'_{Y'_{1i}})^2} \\ \text{disangle1}(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{2 \times N} (\text{Distance}\theta'_{X'_{1i}} - \text{Distance}\theta'_{Y'_{1i}})^2} \\ \text{disF1}(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (F'_{X'_i} - F'_{Y'_i})^2} \end{cases}$$

则 X, Y 两模型的轮廓相似距离 Similarity1 为其距离特征 sim1 和夹角特征 sim2 的加权融合, 计算如下:

$$\text{Similarity1} = \text{sim1} * w1 + \text{sim2} * w2$$

$$\text{sim1} = \sum_{i=1}^6 (\text{dislen}_i * \frac{\text{num}_{X_i} + \text{num}_{Y_i}}{\text{SumNum}})$$

$$\text{sim2} = \sum_{i=1}^6 (\text{disangle}_i * \frac{\text{num}_{X_i} + \text{num}_{Y_i}}{\text{SumNum}})$$

其中 $w1$ 和 $w2$ 是权重因子, 满足: $w1 + w2 = 1$. 在 sim1 和 sim2 的计算过程中考虑到了三维模型不同投影图像表达的信息量是不同的, 在本文计算中采用投影图像中点的个数来权衡这种不一致性.

$$\text{SumNum} = \sum_{i=1}^6 \text{num}_{X_i} + \sum_{i=1}^6 \text{num}_{Y_i}$$

其中, SumNum 表示 X 和 Y 两个模型 6 个正交投影视图中的投影点个数和; num_{x_i} 表示 X 这个模型第 i 个正交投影视图中的投影点个数; num_{y_i} 也

表示类似含义.

X 和 Y 这两个模型的剖面相似距离 Similarity2 为各剖面相似距离的加权平均和:

$$\text{Similarity2} = (\text{disF1} + \text{disF2} + \text{disF3}) / 3$$

最后, X 和 Y 两个模型的最终相似距离 Similarity 为其轮廓距离 Similarity1 与剖面距离 Similarity2 的加权融合, 计算如下:

$$\text{Similarity} = \text{Similarity1} * u + \text{Similarity2} * v$$

其中 u 和 v 是权重因子, 满足: $u + v = 1$.

3 实验结果及分析

算法实验中, 三维模型数据库采用普林斯顿大学形状分析小组提供的标准测试数据库 PSB^[6], 测试库中共含有 907 个模型, 本文对模型按照分类文件进行了手工分类, 将测试库模型按功能分为 35 个粗糙类, 然后再按形状进一步细分成 73 个基本类.

采用 precision-recall 曲线来分别度量本文算法与文献算法的检索性能, 其中 CMMD 是本章提出的基于投影轮廓最远最近距离特征的检索算法; CMMAD 是 CMMD 与夹角因素的加权融合算法, 即结合夹角信息的二维投影轮廓特征的检索算法; SF 是本文提出的基于剖面特征的检索算法; CFSF 是 CMMAD 与 SF 的加权融合算法, 即本文的基于二维投影点集的三维模型检索算法; Min2D 代表文献[4]中的基于二维投影轮廓特征的三维模型检索算法.

查全率 $\text{recall} = (\text{检索出的相关信息量} / \text{系统中的相关信息量}) * 100\%$.

查准率 $\text{precision} = (\text{检索出的相关信息量} / \text{检索出的信息总量}) * 100\%$.

各算法的平均相似性匹配时间如图 2 所示. 从图 2 中可以看出, 本文提出的 CMMD 算法、CMMAD 算法、SF 算法和 CFSF 算法的在线匹配时间都比 Min2D 算法少, 这是由于 Min2D 算法特征提取过程复杂, 相似性匹配阶段需要大量欧式距离计算.

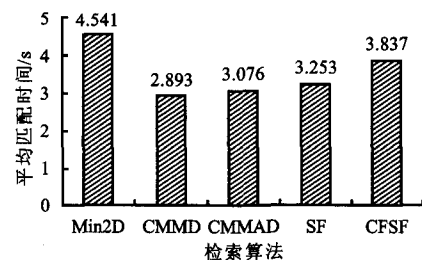


图 2 各算法相似性匹配时间比较

图3给出了各算法在粗糙类上的平均查全差准曲线图。由于测试库中粗糙类大小和复杂程度差别很大,同一算法在不同类别上的实验结果大都不同,因此这里单独给出含有模型数量最多的 Aircraft 类、模型数量中等的 Plant 类以及模型数量最少的 mailbox 类的平均查全查准曲线图,分别如图4、图5、图6所示。

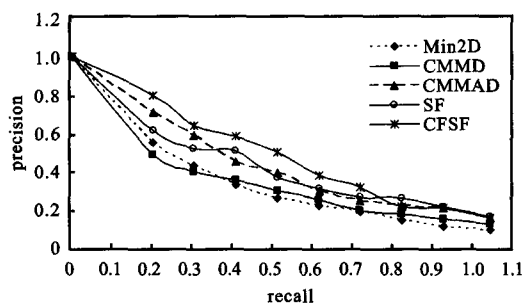


图3 各算法在粗糙类的平均查全一查准率

由图3可以看出,首先,本文提出的 CMMD、CMMAD、SF 和 CFSF 四种方法的查全查准曲线大都在 Min2D 方法的上方,说明本文提出的四种算法的检索效果均优于 Min2D 方法。其次,SF 方法由于刻画了模型的空域信息,且具有旋转不变性,因此曲线图明显高于轮廓类的三种特征提取方法。CFSF 方法利用多特征加权就能相对完备地刻画三维模型,且通过调节不同特征的权重因子获得了最佳检索性能。

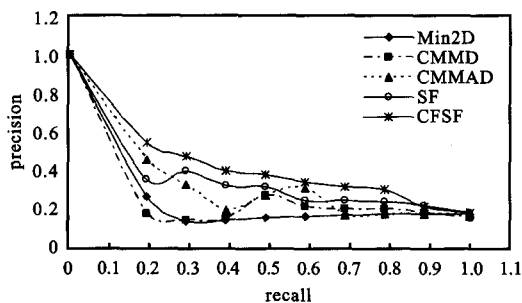


图4 各算法在 Aircraft 类的平均查全一查准率

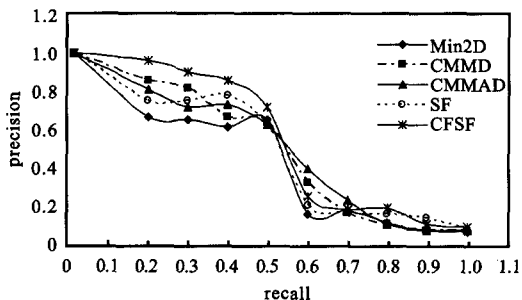


图5 各算法在 plant 类的平均查全一查准率

由图4可以看出,CMMAD 和 CMMD 方法的

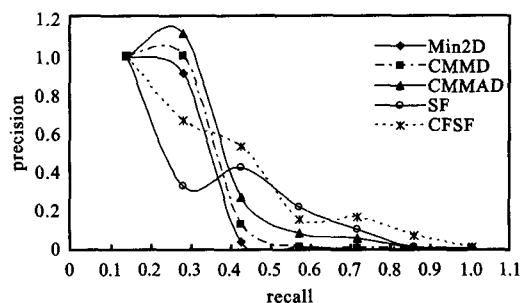


图6 各算法在 mailbox 类的平均查全一查准率

查全查准曲线高于 Min2D 方法,Min2D 方法对这类模型的轮廓表征不是特别准确,而本文算法可以提取出更为精确的轮廓特征。SF 方法曲线靠近上方,说明剖面是 Aircraft 类模型的一个重要特征。CFSF 方法准曲线高于其他四种方法的曲线,说明融合剖面特征和轮廓特征之后检索性能有较大的提升。

由图5可以看出,CMMAD、CMMD 和 Min2D 算法对 Plant 类的查全查准曲线很接近,这是由于 Plant 类中有很多模型形状相似但拓扑结构不同,如果过多的考虑最近距离以及夹角,则可能会造成漏匹配。SF 和 CFSF 算法曲线则比较靠近上方,说明剖面较之轮廓能更好的表征 Plant 类模型。

由图6可以看出,SF 和 CFSF 的查全查准曲线大部分情况高于基于轮廓的 Min2D、CMMAD 和 CMMD 算法,这说明 mailbox 类模型的剖面特征更能将其区分于其他类别的模型。

实验结果表明,本文提出的算法相比文献[4]算法有较好的时间性能,提高了系统的在线检索效率。并且本文算法的匹配精度及准确性较之文献[4]算法有很大提高,特别是 CFSF 算法在大部分粗糙类上都有较好的检索性能。

4 结束语

本文提出一种结合夹角信息的二维投影轮廓特征提取算法。在保证检索查准率同时,显著提高了轮廓特征提取方法的计算效率。针对单纯的轮廓特征提取算法忽略轮廓内部点,丢失模型空域信息的缺点。本文采用投影面模拟切割模型的思想,结合剖面特征与轮廓特征融合,提出了基于二维投影点集的三维模型检索算法。实验表明,本文算法可借助于调整互补特征的权重因子,从而在大多数分类上取得较好的检索效果。

(下转第152页)

输;软件方面的架构设计使应用程序和驱动程序层次分工明确,方便灵活调试.该系统具有很好的扩展性和通用性.对于其他信息安全专用集成电路,都可以采用此系统来测试并展示其功能、性能.

与传统大型芯片测试仪相比,本系统基于 PC 机 PCI、VC 软件和 FPGA,开发成本低,系统可复制、可移植性强,测试代码复用性强,且演示效果好.与基于单片机的小型测试系统相比,本系统同样具有更好的测试代码复用性、成本低、可移植性强、演示效果好等特点.

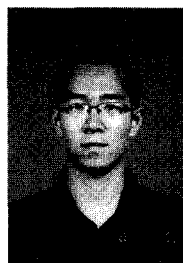
参考文献:

- [1] PLX Technology. Inc. PCI9054 Data Book Version 2.1 [EB/OL]. [2012-05-04]. 2000. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/210852/PLX/PCI9054.html>.
- [2] SAMSUNG Electronics. K6F3216U6M Data Sheet Version 1.0 [EB/OL]. [2012-05-04]. 2002. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/111605/SAMSUNG/K6F3216U6M.html>.
- [3] CYSTech Electronics Corp. LM1117L3 Data Sheet [EB/OL]. [2012-05-04]. 2005. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/141830/CYSTEKEC/LM1117L3>.

html.

- [4] YAMAICHI ELECTRONICS. IC51 Series(Clamshell) Data Sheet[EB/OL]. [2012-05-04]. 2008. [http://www.lm-connector.com/IC测试座\(IC51-QFP-5\).pdf](http://www.lm-connector.com/IC测试座(IC51-QFP-5).pdf).
- [5] 马超,皮亦鸣.基于 PCI9054 的 PCI 接口数据通信系统[J].电子科技大学电子工程学,2008(1):70-73.
- [6] 陈刚.有限域算术和椭圆曲线算术的硬件算法和架构[D].北京:清华大学微电子学研究所,2008.
- [7] Chen G, Bai G, Chen H. A high-performance elliptic curve cryptographic processor for general curves over GF(p) based on a systolic arithmetic unit[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems-2: Express Briefs, 2007, 54(5):412-416.

作者简介:



曹维安 男,硕士研究生.研究方向为信息安全芯片.

(上接第 147 页)

参考文献:

- [1] 贾骥,覃征,卢江,等.圆环射线分解投影轮廓的三维模型检索方法[J].系统仿真学报,2006,18(10):2847-2850.
- [2] Castellani U, Cristani M, Fantoni S, et al. Sparse points matching by combining 3D mesh saliency with statistical descriptors[J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(2):643-652.
- [3] Cao LL, Liu JZ. 3D object retrieval using 2D line drawing and graph-based relevance feedback[C]//Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia[S. L.]:ACM, 2006:105-108.
- [4] Funkhouser T, Min P, Kazhdan M, et al. A search engine for 3D models [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(1):83-105.

- [5] Chen DY, Ouhyoung M. A 3D object retrieval system based on multi-resolution reeb graph[C]//Proceedings of Computer Graphics Workshop, Taiwan: IEEE, 2002:16-20.
- [6] 3D model search engine[EB/OL]. [2012-05-09]. <http://shape.cs.princeton.edu>.

作者简介:

赵仲孟 男,(1959-),博士,副教授,硕士生导师.研究方向为信息处理新技术.

聂丽娜 女,(1986-),硕士研究生.研究方向为三维图像检索技术.

张选平 男,(1963-),副教授,硕士生导师.研究方向为人工智能、图像处理.