

基于边界点描述符的三维模型检索研究

姜 阳¹, 吕学强^{1,2}, 付成睿^{1,2}, 施水才^{1,2}

(1 北京信息科技大学 网络文化与数字传播北京市重点实验室, 北京 100101;

2 北京拓尔思信息技术股份有限公司, 北京 100101)

摘 要: 随着互联网上三维模型的大量产生, 从已有的模型中找到目标模型, 就成为一个迫切的实际问题. 根据三维模型投影轮廓图像的特点, 提出了边界点描述符特征. 在三维模型规范化和正交投影的基础上, 采用边界点特征进行三维模型检索. 利用普林斯顿大学三维模型库的十类模型作为实验数据, 与射线法、D2 形分布方法、Zernike 矩方法进行对比实验, 结果表明: 该种特征稳定, 在人造物类别和植物类别上提高了检索的准确性.

关键词: 三维模型; 正交投影; 轮廓图; 边界点特征

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)08-0071-04

3D Model Retrieval Based on Boundary Descriptor

JIANG Yang¹, LV Xue-qiang^{1,2}, FU Cheng-rui^{1,2}, SHI Shui-cai^{1,2}

(1 Beijing Key Laboratory of Internet Culture and Digital Dissemination Research,

Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China;

2 Beijing TRS Information Technology Co., Ltd, Beijing 100101, China)

Abstract: With the proliferation of 3D models on the Internet, it becomes an emergency task to obtain the desired models from the existing. This paper proposed a kind of boundary descriptor according to the characteristics of the contour images of projected 3D models. This descriptor is applied in 3D model retrieval by combining with normalization and orthogonal projection. Using ten categories of 3D models in PSB, and Comparing with the performance of ray-based method and D2 shape distribution method and Zernike moment method, the experiment results show that the method is stable, and improves the accuracy of retrieval in artificiality category and plant category.

Key words: 3D model; orthogonal projection; contour image; boundary descriptor

1 引言

三维模型及其组成的三维场景能提供比二维图像更多、更丰富的视觉感知细节. 随着三维数据获取技术、三维图形建模方法及图形硬件技术的发展, 已经产生了越来越多的三维物体模型库. 由于进行高逼真度的三维建模非常费时费力, 如果能对已有的三维模型进行复用的话, 将节省大量开支. 因此, 如何有效地对三维模型及其场景进行浏览和检索, 开始吸引了众多研究者的注意, 并日益成为一个研究

热点^[1].

三维模型检索中, 相似性比较是关键问题之一. 目前, 按照其特征描述方法的不同, 三维模型检索技术主要分为以下三类^[2]: 基于形状的检索、基于拓扑结构的检索、基于图像比较的检索. 相比基于形状特征和基于拓扑结构的检索, 基于图像比较的方法有如下特点: (1) 将三维模型间的相似性比较转换为二维投影图像间的相似性比较; (2) 二维图像检索技术较成熟.

二维投影图像的特征提取有许多方法. Heczko

收稿日期: 2012-09-20; 修回日期: 2012-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61271304); 北京市教委科技发展计划项目(KM201211232023); 国家科技支撑计划课题(2011BAH11B03)

等^[3]将三维模型分别在 XY, XZ 和 YZ 三个平面上进行投影, 获得不同的二维轮廓信息. 然后, 计算一组距离值和 FFT 能量谱系数作为形状特征向量. 王小凤等^[4-5]采用基于深度投影的方法, 然后提取 Zernike 矩特征进行相似性度量.

由于王小凤等人提取深度投影图不仅采用投影图的轮廓信息, 也利用模型的内部信息, 所以本文采用王小凤等人的方法提取三维模型的正交投影轮廓图来描述三维模型^[6-7].

2 边界点描述符

特征提取是三维模型检索中的核心问题. 特征提取方法是在三维模型规范化^[8]和三维模型在最小包围盒的正交投影基础上, 提出使用边界点描述符. 再由定义的边界点描述符得到三维模型的特征向量, 用欧氏距离计算三维模型之间的相似度.

在三维模型的投影轮廓图的基础上, 可以提取每幅图像的特征. 在引入边界点描述符之前, 首先需要定义如下几个概念.

定义 1 构成一幅图像的外围轮廓称为边界点.

定义 2 一幅轮廓图像的所有边界点到该图像质心的距离, 称为边界点—质心距离向量.

设一幅轮廓图像有 n 个边界点为 $((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n))$, 则图像的质心 (x_0, y_0) 按下公式求得

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (1)$$

则该幅图像的边界点—质心距离向量为 $Dist = (d_1, d_2, \dots, d_n)$, 其中

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

定义 3 一幅轮廓图像的边界点—质心距离经过排序和归一化后, 根据指定维数 N 进行累加压缩, 形成的一个 N 维特征向量称为边界点描述符 (Boundary Descriptor, BD).

边界点描述符的具体构造过程如下. 设一幅图像的边界点—质心距离为 $Dist = (d_1, d_2, \dots, d_n)$, 排序是对边界点—质心距离向量按照递增顺序进行排序, 设排序后的边界点—质心距离向量为 $SortDist = (sd_1, sd_2, \dots, sd_n)$, 则有如下公式:

$$SprtDost = S(Dist) \quad (3)$$

式中, $S(x)$ 表示对 x 按递增顺序排序.

接着对排序后的边界点—质心距离向量进行归一化. 归一化公式为

$$dnorm_i = \frac{sd_i - \min(SortDist)}{\max(SortDist) - \min(SortDist)} \quad (4)$$

式中, $dnorm_i$ 表示归一化后边界点—质心距离向量的第 i 个分量值, $\max(SortDist)$ 表示 $SortDist$ 向量中的最大值, $\min(SortDist)$ 表示 $SortDist$ 向量中的最小值.

因为每幅图像的边界点个数不同, 所以边界点—质心距离向量的维数不同, 为此按式(5)压缩边界点—质心距离向量, 形成统一的维数.

$$f_i = \frac{\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{n}{N} \rfloor} dnorm_{ij}}{\lfloor \frac{n}{N} \rfloor}, i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

式中, $dnorm_{ij}$ 表示边界点—质心距离向量经过排序和归一化后第 j 个分量值, f_i 表示压缩后的第 i 个特征值, 这样每幅图像都提取为一个 N 维的特征向量, 称为边界点描述符.

采用式(5)中累加边界点—质心距离向量的目的在于: 若两个三维模型相似, 则它们的六幅投影轮廓图像也相似, 但是相对于不相似的两个三维模型的边界点—质心距离向量累加的差值却是越来越小. 参数 N 决定最终特征描述符的维数, 本文经实验得到最佳检索结果时 N 等于 10.

3 边界点描述符的性质

引理 1 边界点描述符 (BD) 满足平移不变性、旋转不变性、缩放不变性.

证明: 先证边界点描述符 (BD) 满足平移不变性. 设一个三维模型原始轮廓图像的 n 个边界点为 $((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n))$, 图像的质心为 (x_0, y_0) . 图像沿 X 轴平移 t_1 个单位, 沿 Y 轴平移 t_2 个单位, 平移后的图像的 n 个边界点为 $((x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), \dots, (x'_n, y'_n))$, 平移后的质心为 (x'_0, y'_0) . 设原始边界点—质心距离向量为 $Dist_{ori} = (do_1, do_2, \dots, do_n)$, 平移后的边界点—质心距离向量为 $Dist_{tran} = (dt_1, dt_2, \dots, dt_n)$.

由式(1)可知

$$(x'_0, y'_0) = (x_0 + t_1, y_0 + t_2) \quad (6)$$

则由式(2)可知

$$do_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

平移后的边界点—质心距离向量

$$dt_i = \sqrt{(x'_i - x'_0)^2 + (y'_i - y'_0)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

把式(6)代入式(8)可得

$$dt_i = do_i \quad (9)$$

即原始边界点—质心距离向量和平移后的边界点—质心距离向量每个分量都相等, 那么经过排序和归

一化后同样相等,故边界点描述符满足平移不变性。

再证边界点描述符(BD)满足旋转不变性。因为轮廓图旋转不影响边界点的数目,只是影响到边界点的排序,不妨设旋转后的 n 个边界点为 $((x_k, y_k), (x_{k+1}, y_{k+1}), \dots, (x_n, y_n), (x_1, y_1), \dots, (x_{k-1}, y_{k-1}))$,则旋转后的边界点一质心距离向量为 $Dist_{rotate} = (d_k, d_{k+1}, \dots, d_n, \dots, d_{k+1})$ 。因此存在一个映射 τ ,使得

$$Dist_{rotate} = \tau(Dist_{ori}) \quad (10)$$

即 $Dist_{rotate}$ 的每一个分量都可以与 $Dist_{ori}$ 的分量形成一一对应。又边界点描述符(BD)需要边界点一质心距离向量经过排序,则 $Dist_{ori}$ 和 $Dist_{rotate}$ 的分量都是按照递增顺序,且所有分量均为一一对应,从而得到

$$S(Dist_{ori}) = S(Dist_{rotate}) \quad (11)$$

即边界点描述符(BD)满足旋转不变性。

最后证明边界点描述符(BD)满足缩放不变性。设轮廓图像缩放 s 个单位,则缩放后的图像的 sn 个边界点为 $((x''_1, y''_1), (x''_2, y''_2), \dots, (x''_{sn}, y''_{sn}))$,缩放后的质心为 (x''_0, y''_0) 。因为缩放后图像的轮廓边界是按原轮廓边界点插值所得,故缩放后每 s 个边界点一质心距离相对于第 s 个边界点到质心的距离近似相等,即

$$\frac{d''_{s(i-1)+1}}{d''_{si}} \approx \frac{d''_{s(i-1)+2}}{d''_{si}} \approx \dots \approx 1 \quad (12)$$

式(12)说明原轮廓图像中第 i 个边界点因缩放变换产生的新边界点到质心的距离 d'' ,与原轮廓图像的边界点的比值约等于1,而对边界点进行累加平均时对缩放后的距离值产生的影响量级不会变,即新的边界点一质心距离和原始的边界点一质心距离处于同一个量级。

由式(5)所得原始轮廓图像的第 i 个特征值为 $f_i = \frac{\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{n}{N} \rfloor} dnorm_i}{\lfloor \frac{n}{N} \rfloor}$,而缩放后轮廓图的第 i 个特征值为 $f'_i = \frac{\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{sn}{N} \rfloor} dnorm'_i}{\lfloor \frac{sn}{N} \rfloor}$ 。因为缩放后又对边界点一

质心距离向量排序,然后每隔 $\lfloor \frac{sn}{N} \rfloor$ 个边界点进行累加平均,根据式(12)可得

$$f_i \approx f'_i, i=1, 2, \dots, \lfloor \frac{sn}{N} \rfloor \quad (13)$$

故边界点描述符(BD)满足缩放不变性。

4 相似性度量

本文采用欧式距离作为相似性度量方法。设两

幅投影轮廓图像的边界点描述符特征分别为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_N), Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$,则它们之间的相似度采用下式计算:

$$D(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (14)$$

一个三维模型有六幅轮廓投影图像,故产生六个 N 维的边界点描述符特征向量,所有三维模型之间的相似度可以采用下述公式计算:

$$Dist(M_{query}, M_k) = \sum_{i=1}^6 \alpha_i D_i \quad (15)$$

式中, M_{query} 表示查询模型, M_k 表示三维模型库中第 k 个三维模型, α_i 表示权重参数, D_i 表示查询模型的第 i 幅图像和第 k 个三维模型的第 i 幅图像之间的相似度。本文取 α_i 为1, $i \in \{1, 2, \dots, 6\}$ 。

5 实验结果与分析

为验证本文提出的边界点描述符用于三维模型检索的效果,本节将给出其与另外三种方法的对比结果。本文实验的机器配置为CPU Corei7-3612QM 2.1 GHz、8 GB内存、64位win7操作系统。测试数据选自普林斯顿大学三维模型库,从中选择10类共150个三维模型进行检索试验,有4类是动物类,5类是人造物类,1类是植物类。这10类别见表1。

表1 10个类别下150个三维模型

类别	个数	类别	个数
蜘蛛	11	鸟	21
鱼	14	恐龙	10
城堡	10	吉他	17
手枪	17	椅子	14
花	14	人脸	20

测试标准采用查准率查全率曲线。设 m_{right} 表示检索出正确的三维模型, m_{all} 表示模型库中和目标模型同一类的三维模型, n 表示检索到的三维模型。则查准率公式为

$$precision = \frac{m_{right}}{n} \cdot 100\% \quad (16)$$

查全率公式为

$$recall = \frac{m_{right}}{m_{all}} \cdot 100\% \quad (17)$$

5.1 检索结果

以其中一组三维模型进行实验说明,在该组中以手枪类三维模型为检索对象。首先对该组三维模型进行规范化预处理,通过文献[5]中的正交投影得到每个三维模型的六幅轮廓投影图像,然后提取这组图像的边界点特征。图1所示为采用本文方法针对一个手枪类三维模型检索的结果,左边是输入一个手枪类三维模型,右边只显示前15个检索结果,

其中方框所选为错误检索模型,而所选择的模型库中手枪类共有 17 个三个模型,其中相似度大小从左向右、从上至下依次递减.图 2 所示为四种方法针对城堡类三维模型对比结果,图 3 所示为四种方法针对手枪类对比结果.

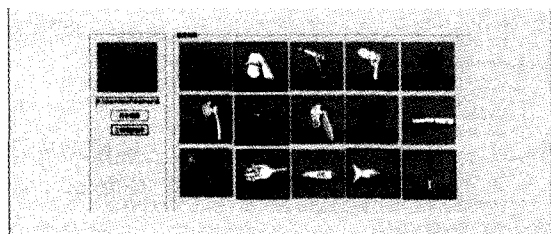


图 1 手枪类三维模型检索结果

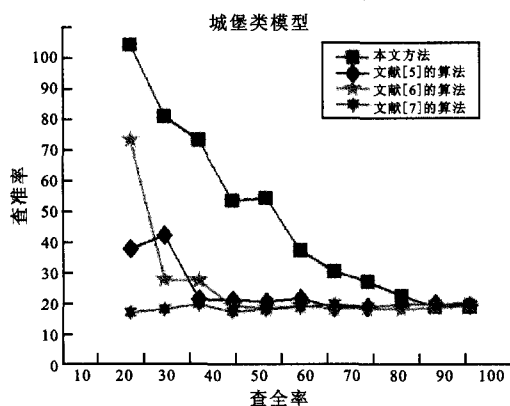


图 2 城堡类上四种方法采用 PR 曲线对比结果

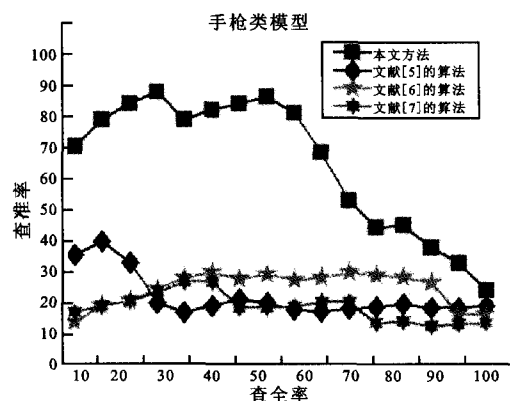


图 3 手枪类上四种方法采用 PR 曲线对比结果

为了说明本文方法的稳定性,采用文献[9]中给出的部分评价指标在十类模型上进行评测.

5.2 结果分析

图 1 所示为一个手枪类三维模型检索结果.已知本模型库中共有 17 个手枪模型,从图中可知前 15 个检索结果中有 10 个是正确的三维模型,且得到的正确模型在结果序列中处于较前的位置,故而本文方法是有效的.图 2 和图 3 分别所示为四种方法在城堡类和手枪类三维模型上检索得到的查全率查准率曲线,从图中可知本文方法在这两类模型上

检索效果优于其他三种方法.

6 结束语

本文提出一种边界点描述符,从理论上证明其具有平移不变性、选择不变性、缩放不变性,并且和文献[5]中的 Zernike 矩特征、文献[6]中的射线法、文献[7]中的 D2 形分布方法进行对比,实验结果证明该特征描述符具有较好的检索效果,并且在人造物和植物类别上优于另三种方法.测试数据采用普林斯顿大学形状检索与分析实验室的三维模型库,本文算法适合三维模型中粗分类的检索.

下一步工作是找到适合描述模型的局部特征并结合全局特征以提高检索的准确率.

参考文献:

- [1] 徐士彪,车武军,张晓鹏.基于形状特征的三维模型检索技术综述[J].中国体视学与图像分析,2010(4):439-450.
- [2] 王慧玲.基于内容的 3D 模型检索概述[J].伊犁师范学院学报:自然科学版,2010(3):54-57.
- [3] 杨育彬,林琨,朱庆.基于内容的三维模型检索综述[J].计算机学报,2004,27(10):1287-1310.
- [4] 王小凤,张飞,耿国华,等.一个基于深度图像的三维模型检索算法[J].计算机工程与应用,2012,48(7):197-200.
- [5] 王小凤,耿国华,张飞,等.一个相关反馈三维模型深度图像检索算法[J].计算机应用研究,2012,29(6):2350-2353.
- [6] 朱悠悠,赵晓飞,陈钰,等.一种基于射线投影的球面调和检索算法[J].现代计算机:专业版,2011(10):28-30.
- [7] 张明,李娟.改进的三维模型形状分布检索算法[J].计算机应用,2012,32(5):1276-1279.
- [8] 江秋鑫,华顺刚,时树胜,等.基于多视图 SIFT 特征的三维模型检索[J].光电技术应用,2011,26(4):56-60.
- [9] Performance measures used[EB/OL]. [2012-08-10]. <http://give-lab.cs.uu.nl/SHREC/shrec2007/performanceMeasures.html>.

作者简介:

姜阳 男,(1989-),硕士研究生.研究方向为多媒体信息检索与处理.

吕学强 男,(1970-),教授,硕士生导师.研究方向为中文信息处理、多媒体信息处理.

付成睿 男,(1976-),助理工程师.研究方向为全文检索.

施水才 男,(1966-),教授,硕士生导师.研究方向为信息检索、中文信息处理.