

基于面积分布的三维模型检索算法

赵鹏飞¹ 金峰²

(河北外国语学院现代教育中心 秦皇岛 066311)¹ (燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)²

摘要 如何缩短检索时间和提高检索效率是三维模型检索中的两个关键问题。针对 Osada 等的 D3 形状分布算法对模型的内容描述不够充分和计算量较大的问题,计算模型质心与模型表面任意两个三角面片的重心构成的三角形的面积,利用统计出来的数据分别构建面积分布直方图,利用直方图进行模型匹配。实验表明,改进的 D3 算法提高了检索性能。

关键词 三维模型检索,特征提取,形状分布,面积分布直方图

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Retrieval of 3D Models Based on Area Shape Distribution

ZHAO Peng-fei¹ JIN Feng²

(Modern Education Center, Hebei Vocational College of Foreign Language, Qinhuangdao 066311, China)¹

(College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)²

Abstract How to reduce the time and increase the efficiency of retrieval are the key problems in 3D model retrieval. Osada's D3 shape distribution does not describe the content of model enough and the calculated amount is comparatively large. A novel method for 3D models retrieval was proposed. Computing the area between the center of mass of model and two barycenters of random triangles, using the statistical data to compute area distribution histograms. Then the histogram is used to match the model. Experimental results show the proposed method received a better performance.

Keywords 3D models retrieval, Feature extracting, Shape distribution, Area distribution histogram

近年来,随着三维造型技术的发展,三维模型作为一种重要的多媒体数据类型已经在许多领域得到了广泛应用。日益发达的互联网技术为三维模型的共享和处理提供了条件,使创建一个三维模型数据库变为可能,这些都导致对三维模型应用需求的增长。面对庞大的三维模型数据库,如何迅速查找到所需的模型,正在成为继图像、视频检索之后的又一个热门课题。如何在大量的普通三维模型中检索出自己需要的三维模型,是基于内容的三维模型检索技术的一个新的研究方向^[1]。

Osada 等人提出的形状分布算法是一种简单而有效的三维模型检索算法。其主要思想是通过形状分布函数测量三维物体,即采用三维模型表面的三角面片上的特征点间的距离、面积和体积等的概率分布来作为特征比较的基础。与其他算法比较,形状分布算法主要的优势是它的简便性,这种算法不需要对三维模型进行预处理,直接从物体表面获取少量的数据就可以进行相似性的比较,具有较高的鲁棒性^[2]。

Osada 提出了 5 个形状分布函数,其中 D2 形状分布函数的检索效果最好。近年来许多专家学者对 D2 形状分布算法进行了改进^[3,4],取得了很好的效果。主要是针对 D2 算法对模型内容描述不够充分的问题,增加了一个或多个特征提取变量。但是这样也增加了特征提取和特征匹配的时间。在

Osada 提出的 5 个形状分布函数中,D3 形状分布函数的检索效果是仅次于 D2 函数的。D3 形状分布函数计算模型表面任意 3 个特征点所构成的三角形面积的平方根,以面积大小出现的概率作为特征值进行匹配。本文对 D3 形状分布算法进行改进,计算模型质心与模型表面任意两个三角面片的重心所构成的三角形的面积,以此进行特征匹配。

1 D3 形状分布算法分析

1.1 模型表面划分

将三维模型表面划分为三角面片的集合,计算每个三角面片的面积,并将面积计入累计数组。

1.2 计算形状分布直方图

在介于零和所有三角网片面积总和的区间内生成随机数,利用二分查找在累计数组中找到面积与随机数相等的三角面片,利用式(1)在三角面片上得到特征点的坐标。

$$P = (1 - \sqrt{r_1})A + \sqrt{r_1}(1 - r_2)B + \sqrt{r_1}r_2C \quad (1)$$

其中 r_1 和 r_2 是介于 0 和 1 之间的随机数, A, B, C 是三角面片的三个顶点坐标。在模型上选取足够多的特征点,通过计算模型表面任意 3 个特征点所构成的三角形面积的平方根在整个采样面积的平方根中出现的概率,来构建模型的面积分布直方图。

到稿日期:2008-08-12 返修日期:2008-11-05 本文受国家自然科学基金(50675189),河北省自然科学基金(F200600 0267)资助。

赵鹏飞(1982-),男,硕士研究生,助教,主要研究领域为计算机图形学和多媒体技术,E-mail:jinfeng80@yahoo.cn;金峰(1980-),男,硕士研究生,研究方向为虚拟现实技术。

1.3 比较面积分布直方图

采用二维曲线配准的方法比较面积分布直方图,给出相似性判别结果。Osada 等一共使用 8 个距离公式计算模型的相似度。

Osada 的 D3 形状分布算法对模型的内容描述不够充分,例如在模型的凹陷部分的边缘选取的 3 个点构成的三角形与模型没有相交或仅是部分相交,不能很好地描述模型的结构特征。另外,D3 形状分布算法计算量较大,如果采用 1024 个特征点,需要计算面积的三角形数量为 $\frac{1024!}{3!(1024-3)!} = 178433024$ 。如果采用 512 个特征点,需要计算面积的三角形数量为 $\frac{512!}{3!(512-3)!} = 22238720$ 。本文提出一种改进算法,计算模型质心与模型表面任意两个的三角面片的重心所构成的三角形的面积。

2 改进的 D3 形状分布算法

2.1 模型三角面片划分

首先将模型表面划分为三角面片的集合。另外,由于每个三维模型的三角面片大小不一,不同模型的三角面片的个数不一,需要对三维模型的三角面片进行划分。将较大的三角面片的每条边三等分,依次连接每条边的三等分点,这样就将一个较大的三角面片划分为 9 个较小的三角面片。记录下每个三角面片的顶点和边。

2.2 特征提取

在对模型进行划分后,利用 Heron 公式计算三维模型表面每个三角面片的面积 Tw_i 。

计算每个三角面片的重心坐标 TP_i 。利用式(2)计算模型的质心坐标:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m TP_i \times Tw_i}{\sum_{i=1}^m Tw_i} \quad (2)$$

在实际计算中,我们没有按照式(2)计算模型的质心。采用的模型库是普林斯顿大学的三维模型数据库,每个模型的质心坐标已给出^[5]。实际计算时,直接采用给出的质心坐标,减少了特征提取的时间。

对三角面片按照面积大小进行排序,同时得到三角面片的面积最大值 Tw_{max} 和最小值 Tw_{min} 。排序算法采用 SGI STL 中的 `stable_sort()` 算法^[6],是经过优化的快速排序算法,算法的时间复杂度为 $O(n \log n)$ 。

生成随机数 r ,且满足: $Tw_{min} < r < Tw_{max}$ 。使用折半查找,找到面积与随机数 r 相等的三角面片,再以这个三角面片的重心为选定的特征点。对于选定的特征点的个数 n ,文献[2]指出当 $n=1024$ 时已经可以达到较好的区分效果,本文亦选取 $n=1024$ 。

计算模型质心与任意两个特征点构成的三角形的面积,计入面积数组 $A[i]$,计算所有三角形面积的总和 $S_{total} = \sum A[i]$ 。本算法的计算量为 $\frac{1024!}{2!(1024-2)!} = 523776$,减少了特征提取的时间。

对计算出来的三角形按面积大小进行排序。排序算法采用 SGI STL 中的 `stable_sort()` 算法,统计面积相等的三角形在总面积中出现的概率。以计算出的三角形的面积作为横

轴,以其在总面积中出现的概率作为纵轴,构建面积分布直方图其面积分布直方图如图 1 和图 2 所示。



图 1 三维模型

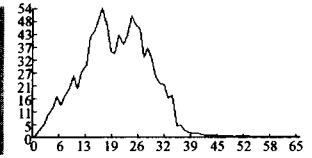


图 2 图 1 所示模型的面积分布直方图(单位为 0.001)

2.3 特征匹配

即计算模型的相似度。在实验中,采用文献[7]中提到的 Minkowski L_1 检验方法。

L_1 的表达式为

$$L_1(f, g) = \sum_{i=1}^n |f_i - g_i| \quad (3)$$

其中 f 和 g 分别表示进行比较的两个模型的直方图。 f_i 和 g_i 分别为进行比较的两个模型的同一面积的概率, n 为比较的两个模型的面积的个数。由于模型大小不一,在面积分布直方图比较过程中必须加入标准化的步骤。方法如下:通过排列采样面积最大值来标准化面积分布直方图。使用两直方图中采样面积平均值最大的那个 n 值。对于采样面积平均值小的,补上相应个数的 0,因此比较的两个面积分布直方图的相似度计算公式改为

$$D(f, g) = \frac{L_1(f, g)}{n} \quad (4)$$

这反映了两个直方图的平均差异。

3 实验分析

为了检测本算法的性能,将其与 Osada 在文献[2]和 Ohbuchi 在文献[3]所提出的算法进行试验比较。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,数据库中含有 907 个模型。从中选择 100 个模型,分为 10 类,如人、椅子、飞机等。每类 10 个模型,采用 Precision-Recall 曲线来度量不同方法的检索性能。

检索性能评价方法如下:用户提交一个关键模型,计算数据库中每个模型与关键模型的匹配度;然后取前面 S 个最好的匹配度作为检索结果。设 N 为检索返回的所有模型, M 为每一类模型的个数。查准率 p 定义为 $p = S/N$,查全率 r 定义为 $r = S/M$ 。部分模型的改进 D3 算法检索结果如图 3 所示,检索效果比较如图 4 所示。

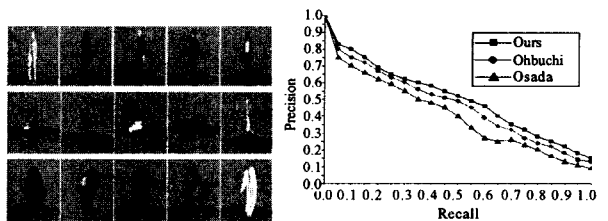


图 3 部分模型的检索结果(相似度最接近的 5 个模型)

图 4 检索性能比较图

对于三维模型检索,另一个值得注意的问题是对用户提交的关键模型处理的时间问题。如果处理时间过长,导致检

(下转第 302 页)

从各种算法的实验结果可以看出,以上的各种滤波算法,除限幅滤波外,其它的基本思想都是试图以一个“更为合理”的值去代替实测值,而不去判断这些值是否本身就是合理的。其中,限幅滤波、中位值滤波与算术平均值滤波效果较好,但对于桥梁挠度数据的处理仍不能很好的满足要求。

3.3 本文算法实验及分析

为验证本文算法对于处理挠度数据的性能,输入同一组测量数据,得到原始数据图像与经本文滤波算法滤波后的图像如图4所示。

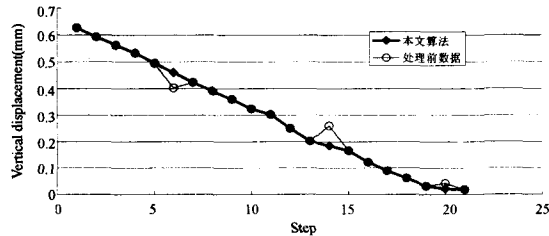


图4 限幅均值预测滤波算法效果

从图形中可以看出,本文算法在对数据进行处理时,对原始数据中比较合理的数据能够进行保留,对干扰噪声能够进行较好的判断,并用一个较为恰当的预测数据进行替换和填充,很好地去除了其中的噪声干扰,滤波效果明显。

结束语 本文设计的梯度均值预测滤波算法综合了限幅滤波、中位值滤波与算术平均值滤波的优点,复杂度低,对于缓慢变化的测量信号滤波效果明显,既能很好地保留正确的原始测量数据,又能对干扰信号进行有效滤除,在桥梁挠度线形测量系统的应用实验中得到了比较满意的效果。

参考文献

[1] 沙定国. 实用误差理论与数据处理[M]. 北京:北京理工大学出

版社,1993

- [2] 华媛媛,胡润生,刘海清. 卡尔曼滤波法用于变形监测数据处理[J]. 技术与创新管理, 2008, 29(6): 658-670
- [3] 赵虎. 数据采集中的未确知有理数滤波方法[J]. 自动化仪表, 2008, 8(29): 12-14
- [4] 赵志峰,杨帆. 未确知滤波法在监测数据误差处理中的应用[J]. 路基工程, 2008, 4(139): 54-55
- [5] Li Z X, Chan T H T, Ko J M. Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data — Part I: methodology and strategy[J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23: 45-53
- [6] Robertson I N. Prediction of vertical deflections for a long-span prestressed concrete bridge structure [J]. Engineering Structures, 2005, 27(12): 1820-1827
- [7] Li H-N, Li D-S, Song G-B. Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering [J]. Engineering Structures, 2004, 26: 1647-1657
- [8] Lan Zhangli, Yang Xiaofan, Chen Weimin, et al. Study on non-contact weighted-stretched-wire system for measuring bridge deflections and its effect factors [J]. Engineering Structures, 2008, 30: 2413-2419
- [9] Chan T H T, Li Z X, Ko J M. Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data — Part II: application [J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23: 55-64
- [10] Shen Bichun, Zheng Jian-hohg, Shen Min. Maximum likelihood channel estimation based on nonlinear filter [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition, 2008, 20(4): 410-412

(上接第 299 页)

索实时性下降。即使检索准确率有了明显提高,实用性也不强,尤其是在互联网上。如表1所列,本文算法对模型的平均处理时间有所减少(CPU: PD 3.0GHz, 内存: 1024M, 处理时间包括打开文件读取模型的时间)。

表1 不同算法的处理时间

检索方法	平均处理时间	平均检索时间
Ours	1.53s	0.042s
Osada	5.39s	0.057s
Ohbuchi	2.48s	0.11s

表1中平均处理时间是对100个模型进行批处理提取所有模型特征平均所花费的时间,在检索系统中可以预先处理。由实验结果看出,本文所用的方法检索性能有所提高。主要是因为计算模型重心与模型表面任意两个特征点所构成的三角形的面积,计算量相比D3算法减少很多,同时并没有降低对模型的内容描述,提高了检索的准确性。

结束语 本文介绍了一种对D3形状分布算法的改进算法。相对于D3算法,本算法具有计算量较小、处理时间短、检索准确的特点。

基于内容的三维模型检索技术是近年来随着三维模型获取技术的增强以及互联网的发展而兴起的计算机图形学领域内的一个重要研究课题。现在对这一领域的研究还处于初级

阶段,还有许多问题需要进一步探讨和研究。

参考文献

- [1] 杨育彬,林晖,朱庆. 基于内容的三维模型检索综述[J]. 计算机学报, 2004, 10(27): 1297-1310
- [2] Osada R, Funchouser T, Chazelle B, et al. Shape Distribution [J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(4): 807-832
- [3] Ohbuchi R, Minamitani T, Takei T. Shape-similarity search of 3D Models by using enhanced shape functions [J]. International Journal of Computer Applications-in-Technology (IJCAT), 2005, 23(2/3/4): 70-85
- [4] Monteverde I C, Ruizjr C R, Huang Zhiyong. A Shape Distribution for Comparing 3D Models [C]//MMM LNCS 4351. 2007, Part 1: 54-63
- [5] Shilane P, Min P, Kazhdan M, et al. The Princeton Shape Benchmark. Shape Modeling International. Genova, Italy, June 2004
- [6] Josuttis N M. C++标准程序库[M]. 侯捷, 孟岩, 译. 武汉:华中科技大学出版社, 2002: 397-398
- [7] Vranic D V, Saupe D, Richer J. Tools for 3D-object retrieval; Karhunen-Loeve transform and spherical harmonics [C]//Proceedings of the IEEE 2001 Workshop Multimedia Signal Processing. Canners, France, 2001: 293-298