

# 一种改进的正视图三维模型特征提取算法

邓利平

(西华师范大学计算机学院, 四川 南充 637002)

**摘要:**随着多媒体与网络技术的迅速发展,大量的三维模型产生并被广泛使用,导致三维模型查询成为紧迫的研究内容。其中基于内容的三维模型特征提取是一个重要的研究课题。文章在研究现有三维模型特征提取算法的基础上,提出了一种改进的正视图特征提取算法,通过提取正视图的灰度统计量平均值、均方差和三阶矩为特征,提高了算法的精确度。实验表明,算法在获得较好查准率与查全率的同时,降低了算法的运行时间。

**关键词:**三维模型;特征提取;正视图描述符;基于内容的检索

**中图分类号:** TP319.4

**文献标识码:** A

## 引言

作为继声音、图像和视频之后的第四代多媒体数据类型,三维模型已经被广泛应用于工业设计、虚拟现实、影视动画和分子生物学等领域,可共享的三维模型数量更是以指数方式在快速增长。因此,研究三维模型检索技术,帮助用户快速准确地获取符合设计意图的三维模型,实现资源重用,成为当前的热点研究问题。目前,大多数商用多媒体检索系统通过关键字帮助用户查找需要的多媒体数据。为了增加查找精度,数据库管理员必须为多媒体数据选择较好的注释。如果数据库非常大,这项工作将非常耗费人力和时间。此外,每个用户给定的关键字都不一定相同。一般方法是通过文件名、标题或者上下文来获得关键字。然而,当文件名没有被注释或者文件名没有具体说明时处理就会失败。因此,对自动高效的基于内容的多媒体检索系统的需求已成为一个严重的问题。二维视图包含了丰富的信息,可以用来描述三维模型,因此很多二维特征描述符可以直接应用于三维形状内容的理解。基于视图的方法就是将三维模型从不同角度投影到二维平面上,将三维检索转化为二维检索问题。

## 1 相关工作

基于视图的方法主要思想是用一定数量的二进制

图片来表示三维模型,每个二进制图片从不同角度获得三维模型的边界轮廓。因此,二维几何特征可以被用来索引相似的三维模型。文献[1-2]介绍了几种二维查询方法来实现基于视图的三维模型特征提取。Super等<sup>[3]</sup>运用二维轮廓来实现三维对象识别。曲率与轮廓被提取出来描述每个二维形状。Malmoudi等<sup>[4]</sup>给出了一个基于三维模型视图的三维模型特征检索机制,通过形状的分割方法使用曲率尺度空间描述符来解决缩放问题。Chen等<sup>[5]</sup>提出基于视觉相似的侧面影像比较实现三维模型检索。每个侧面轮廓由一个二维图像来表示,使用Zemke矩与傅立叶描述符来描述每一个二维图像。该方法的优点是可以尽早排除不相关的模型。由于三维模型可能被旋转或变形,所以二维形状的数量必须要达到一定的数量才能表示一个三维模型。然而,随着二维形状数量的上升,特征提取的耗时也将迅速增大。高波涌等<sup>[6]</sup>将基于视图描述的形状特征和三维Zemke矩两种特征应用于三维模型检索,并且根据用户反馈在输出层进行融合。贾骥等<sup>[7]</sup>提出了一种网格分解二维投影边界点的三维模型检索方法,可以在较短的响应时间获得较优的检索性能。事实上二维形状仅能够描述三维模型的轮廓不能描述三维模型的高度特征。Shih等<sup>[8]</sup>提出了一种基于正视图的特征提取算法,提取六个正视图来表示三维模型,所有正视图都是二维灰度图形,分别从前部,上部,右部,后部,下部和左部6个角度描述

收稿日期: 2010-04-12

基金项目: 四川省教育厅科研项目(08ZA018);西华师范大学校级启动项目(08B006)

作者简介: 邓利平(1983-),男,四川广安人,助教,硕士,主要从事空间信息系统、计算机图形学方面的研究。http://www.cnki.net

三维模型的轮廓和高度。该算法具有较好的平移和缩放不变性, 对三维模型的旋转与变形也有较好的鲁棒性, 本文对该算法进行了改进。

## 2 特征提取算法描述

首先, 用一个最小的正方体盒包围三维模型, 然后将包围盒分解为  $2L \times 2L \times 2L$  个三维单元格。实验表明  $L$  为 32 已能有效鉴别对象和过滤掉 3D 模型复杂组件的精细噪声<sup>[8]</sup>。若单元格  $(m, n, h)$  中存在三维模型的多边形表面, 记  $Voxel(m, n, h) = 1$  且称这个单元格不透明; 否则称单元格为透明, 记  $Voxel(m, n, h) =$

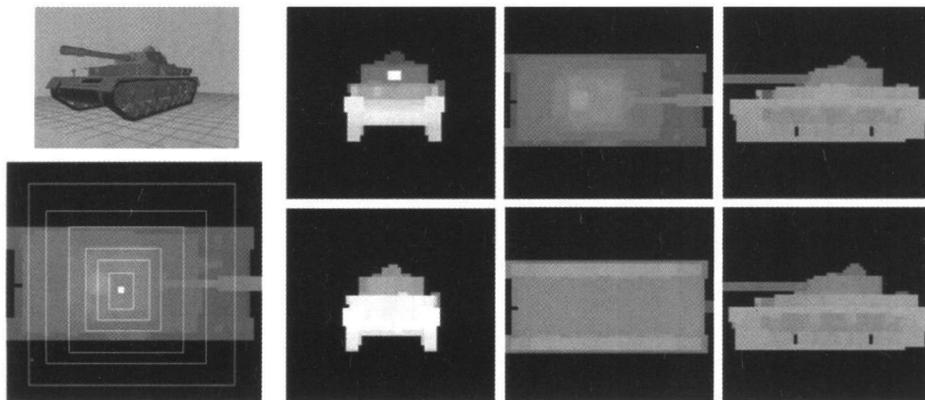


图 1 三维坦克模型及其正视图投影和  $L$  个同心正方形分解示意图

0。基于分解过程, 模型的质心移动到  $(L, L, L)$ , 所有不透明点到质心的距离线性变为  $\frac{L}{2}$ , 使模型的正视图提取具有了平移与缩放的不变性。Shih 等<sup>[8]</sup>进一步说明通过此分解过程获得的正视图描述符对旋转也具有鲁棒性。

第二步, 利用文献 [8] 的方法, 从前部, 上部, 右部, 后部, 下部和左部六个方向对模型做二维投影, 获得 6 个正视图, 如图 1 (右)。每个正视图用一个灰度图表示, 其灰度值表示模型的高度信息。将 6 个正视图连续的记为  $E_k, k = 1, 2, \dots, 6$ , 具体转换公式为:

$$f_1(m, n) = \max\{(65-h)Voxel(m, n, h) \mid 1 \leq h \leq 64\} \quad (1)$$

$$f_2(m, h) = \max\{(65-n)Voxel(m, n, h) \mid 1 \leq n \leq 64\} \quad (2)$$

$$f_3(n, h) = \max\{mVoxel(m, n, h) \mid 1 \leq m \leq 64\} \quad (3)$$

$$f_4(m, n) = \max\{hVoxel(m, n, h) \mid 1 \leq h \leq 64\} \quad (4)$$

$$f_5(m, h) = \max\{nVoxel(m, n, h) \mid 1 \leq n \leq 64\} \quad (5)$$

$$f_6(n, h) = \max\{(65-m)Voxel(m, n, h) \mid 1 \leq m \leq 64\} \quad (6)$$

第三步, 对正视图做特征提取。首先利用与文献 [9] 类似的分解方法, 将每个正视图分解为  $L$  个同心正方形, 如图 1 (左下); 由 Shih 算法可知, 只要分解图形为中心对称图形都能获得较强的旋转鲁棒性。已有算法求出两个连续分解正方形或分解圆形中的灰度差值, 作为正视图描述符。将提取由分解形成子区域的灰度统计量平均值、均方差和三阶矩作为正视图描述符, 均方差用来衡量灰度对比度, 三阶矩描述了直方图的对称情况。第  $j$  个子区域  $C_j$  定义如下,  $C_1$  为实心正方形, 且中心点到每条边的距离为 1 个单元 (相对于  $2L \times 2L \times 2L$  划分),  $C_j, 1 < j \leq L$  为正方形环, 且中心点到内外边的

距离分别为  $j-1$  和  $j$  个单元。由第一步的划分可知, 正视图被分解为  $2L \times 2L$  个小单元, 设  $x, y \in 1, 2, \dots, 2L$ , 令  $\alpha = L - j + 1, \beta = L + j$  则  $C_j$  中所有单元格坐标  $(x, y)$  满足  $\alpha \leq x, y \leq \beta$ ; 且当  $\alpha < x < \beta$  时,  $y = \alpha$  或者  $y = \beta$ ; 当  $x = \alpha$  或者  $x = \beta$  时,  $\alpha \leq y \leq \beta$ 。定义  $c_{(x,y)}(j)$  为  $C_j$  中单元格  $(x, y)$  的灰度值, 定义  $e(j), \sigma(j), t(j)$  分别为  $C_j$  的灰度统计量平均值、均方差和三阶矩, 计算公式为:

$$e(j) = \frac{1}{n} \sum_{(x,y) \in C_j} c_{(x,y)}(j), \quad 1 \leq j \leq L \quad (7)$$

$$\sigma(j) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{(x,y) \in C_j} (c_{(x,y)}(j) - e(j))^2}, \quad 1 \leq j \leq L \quad (8)$$

$$t(j) = \frac{1}{n} \sum_{(x,y) \in C_j} (c_{(x,y)}(j) - e(j))^3, \quad 1 \leq j \leq L \quad (9)$$

其中,  $n = 4^j (\beta - \alpha) = 4^j (2j - 1)$ , 即每个区域所含单元格的个数。使用  $e'(j) = \frac{e(j)}{\sum_{j=1}^L e(j)}$ ,  $\sigma'(j) =$

$$\frac{\sigma(j)}{\sum_{j=1}^L \sigma(j)}, \quad t'(j) = \frac{t(j)}{\sum_{j=1}^L |t(j)|}, \quad 1 \leq j \leq L$$

对三个量归一化。为了减少相似性计算的工作量, 必须降低特征向量的维度, 将从第一个子区域开始, 每四个连续区域的三组十二个特征值分别合成三个特征值, 具体公式为:

$$e''(k) = \frac{1}{4}(e'(l+1) + e'(l+2) + e'(l+3) + e'(l+4)) \quad 1 \leq k \leq 8 \quad l = 4(k-1) \quad (10)$$

$$\sigma''(k) = \frac{1}{4}(\sigma'(l+1) + \sigma'(l+2) + \sigma'(l+3) + \sigma'(l+4)) \quad 1 \leq k \leq 8 \quad l = 4(k-1) \quad (11)$$

$$t''(k) = \frac{1}{4}(t'(l+1) + t'(l+2) + t'(l+3) + t'(l+4)) \quad 1 \leq k \leq 8 \quad l = 4(k-1) \quad (12)$$

由  $L = 32$  知,  $k$  的最大取值为 8. 定义三维模型的正视图描述符  $x$  为:  $x = [(x_1)^T, (x_2)^T, \dots, (x_6)^T]^T$ , 其中  $x_i = [e_i(1), \dots, e_i(8), \sigma_i(1), \dots, \sigma_i(8), t_i(1), \dots, t_i(8)]^T$ .

第四步, 采用与文献 [8] 相同的相似度计算方法. 设  $x = [(x_1)^T, (x_2)^T, \dots, (x_6)^T]^T$  和  $y = [(y_1)^T, (y_2)^T, \dots, (y_6)^T]^T$  是查询模型  $q$  和匹配模型  $s$  的正视图描述符. 相应的对于第  $i$  个排列的匹配操作  $p_i(k)$  [8],  $q$  与  $s$  之间的距离为  $Dis_{q,s}^i$ ;  $q$  与  $s$  之间的真实距离定义为  $Dis_{q,s}$ . 模型  $q$  与  $s$  之间的相似性度量为真实距离的倒数, 具体公式为:

$$Dis_{q,s}^i = \sum_{k=1}^6 \|x_k - y_{p_i(k)}\| = \sum_{k=1}^6 \sum_{r=1}^24 |x_k(r) - y_{p_i(k)}(r)| \quad 1 \leq i \leq 48 \quad (13)$$

$$Dis_{q,s} = \min_{1 \leq i \leq 48} Dis_{q,s}^i \quad Sim_{q,s} = \frac{1}{Dis_{q,s}} \quad (14)$$

### 3 实验分析

以普林斯顿三维模型数据库 PSB (Princeton Shape Benchmark) 为实验对象, 将本文方法实现, 并与 Sh h 特征提取方法进行对比. 实验平台: Pentium 4 2.8 GHz, 1 GB 内存; Windows Server 2003 SE; VC++ 6.0 Matlab 6.5.

如图 2 所示, 实验首先对 PSB 模型库中的 m1420 (a), m1423 (b), m99 (c) 三个模型进行特征提取, 其中 R、G、B 曲线分别代表模型的灰度统计量平均值、均方差、三阶矩. 从图 2 中可以看出 (a)、(b) 模型的曲线走势较为相似, 与 (c) 模型差距较大, 且 R 线对模型形变较为敏感, 可以用来区分不同的模型. 在实际应用中, 可以适当调整灰度统计量平均值、均方差和三阶矩在相似性计算中所占的权值, 以便达到更好的效果. 特征提取时间见表 1 从表 1 中可以看出, 特征提取时间与模型的面数成正比, 面数越大, 耗时越多; 且模型 M1420 与 M1423 较为相似, 实验中还发现, 归一化方法的选择对相似度的计算结果有一定影响.

为了检测算法的检索性能, 可以使用查全率和查准率来评价 [9]. 首先对普里斯顿大学基准库中所有模型进行随机的平移、旋转与缩放. 然后, 以坦克为检索模型, 分别利用改进的正视图三维模型特征提取算法与 Sh h 方法进行实验, 根据实验结果绘制 precision-recall

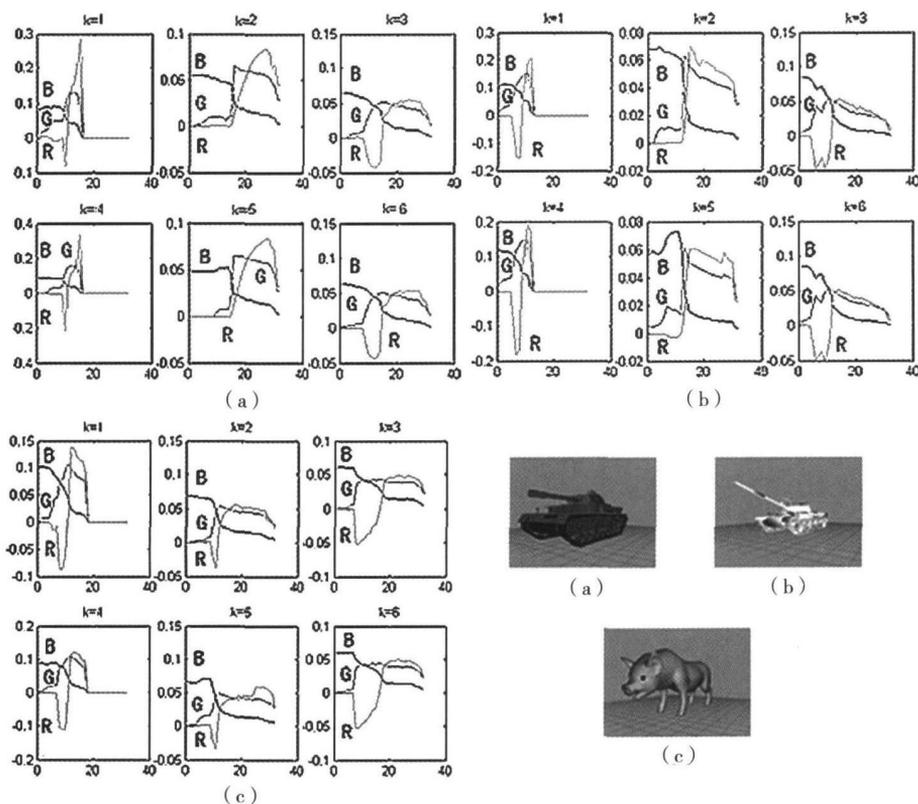


图 2 三个模型的正视图描述符 (B 为平均值、G 为均方差、R 为三阶矩)

表 1 三模型特征提取时间及相似度

模型	面数	特征提取时间	与 m1420 相似度
M99	2888	22ms	0.3841
M1420	13631	199ms	$\infty$
M1423	13901	221ms	0.8168

曲线,如图 3 所示。从图 3 中可以看出,模型进行随机的平移、旋转与缩放后,改进的基于正视图描述符的特征提取算法查准率略高于 Shih 方法的查准率,且当查全率在 0.2 与 0.4 之间时,查准率明显优于 Shih 方法。此外,由于每个正视图描述符从 32 维下降到 24 维,降低了检索时间,提高了效率。

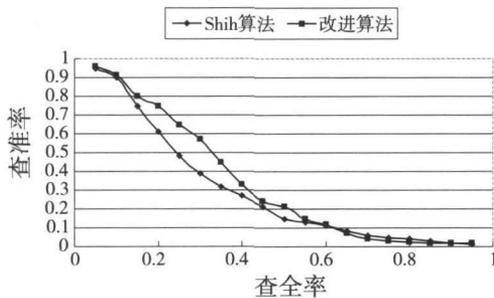


图 3 检索性能比较

#### 4 结束语

由于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。所以三维模型的检索与复用近年来成为计算机图形学领域内的一个重要研究课题。但三维模型比二维图像特征提取更为复杂,检索效率也较低。针对这个问题,文章提出了一种改进的正视图三维模型特征提取算法,提取正视图的灰度统计量平均值、均方差和三阶矩为特征,并对其做了实验分析。从实验结果来看,该算法继承了原算法的平移、缩

放、旋转不变性和良好的查准率及查全率,同时降低了算法的执行时间,对模型具有较好的区分能力,因而更适用于三维模型检索。

#### 参考文献:

- [1] Funkhouser T, Min P, Kazhdan M J et al A search engine for 3D models [ J]. ACM Trans Graphics 2003, 22( 1): 83-105.
- [2] Loffler J Content-based retrieval of 3D models in distributed web databases by visual shape information [ C]. Proceedings of Information Visualization 2000
- [3] Super B J, Lu H. Evaluation of a hypothesizer for silhouette-based 3D object recognition [ J]. Pattern Recognition 2003, 36: 69-78
- [4] Mahmoudi Saied Mohamed Daoudi A probabilistic approach for 3D shape retrieval by characteristic views [ J]. Pattern Recognition Letters 2007, 28( 13): 1705-1718
- [5] Chen D Y, Tian X P, Shen Y T, et al On visual similarity based 3D model retrieval [ J]. Comput Graphics Forum 2003, 22( 3): 223-232
- [6] 高波涌, 莫国良, 张三元. 基于混合形状特征的三维模型检索研究与实现 [ J]. 计算机应用研究, 2007, 24( 3): 221-225
- [7] 贾骥, 覃征, 卢江. 网格分解二维投影边界点的三维模型检索方法 [ J]. 计算机学报, 2006, 29( 12): 2119-2129
- [8] Shih Jau Ling, Less Chang Hsing Wang Jian Tang A new 3D model retrieval approach based on the elevation descriptor [ J]. Pattern Recognition 2007, 5( 2): 283-295
- [9] 刘晓静. 一种改进的三维模型特征提取算法 [ J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2009, 27( 3): 19-22

## An Improved Feature Extraction Algorithm for Elevation-Based 3D Model

DENG Liping

(Department of Computer Science, China West Normal University, Nanchong 637002, China)

**Abstract** With the rapid development of multimedia and network technology, a large number of 3D models have been produced and widely used. This has made the searching for specific 3D models as a vital issue. Content-based 3D model feature extraction is an important research topic. This paper, which researched the existing feature extraction algorithms, proposed an improved feature extraction algorithm for elevation-based 3D model. By extracting the average, mean square error and three-order matrix of gray statistics as the features, the accuracy of the algorithm is improved. Experiments show that the algorithm obtains better precision-recall and reduces the running time.

**Key words** 3D model, feature extraction, elevation descriptor, content-based retrieval