

基于形状特征描述算子的3D模型检索

廖凯宁¹, 李志强¹, 孙 静²

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

摘 要: 针对投影图像的形状特征, 结合傅里叶描述算子、Zernke 不变矩、形状参数、离心率的特点, 提出一种基于权重关系的合成的形状特征描述算子, 将其应用到 3D 模型投影图像检索算法中。实验结果表明, 相比其他 4 种形状特征描述算子, 该算子能较好描述投影图像的轮廓、区域以及整体特征信息, 并可提高算法的检索效率。

关键词: 3D 模型检索; 视觉相似; 形状特征描述算子

3D Model Retrieval Based on Shape Feature Description Operator

LIAO Kai-ning¹, LI Zhi-qiang¹, SUN Jing²

(1. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029; 2. Anhui Earthquake Administration, Hefei 230031)

【Abstract】 Aiming at the shape feature of projection image, this paper proposes a hybrid shape feature description operator based on weighted relationship by combining different shape characteristics from Fourier description operator, Zernke moment invariant, shape function and eccentricity, and makes it use of 3D model projected image retrieval algorithm. Experimental results show that the operator can well describe contour, region and whole feature information of projected image compared with other four kinds of shape feature description operator, and it can enhance the retrieval performance for algorithm.

【Key words】 3D model retrieval; visual similarity; shape feature description operator

1 概述

随着互联网的快速发展和 3D 技术的不断成熟, 真实 3D 模型被运用在很多领域, 如工业 CAD、虚拟现实、3D 游戏等。由于创建一个逼真的 3D 模型需要大量的时间和精力, 而且互联网上提供大量免费下载的真实 3D 模型, 因此对现有 3D 模型进行重用是一种快捷高效的方法。

目前, 基于文本的信息检索算法已经较普遍, 如 Google 检索系统。相对而言, 基于多媒体的信息检索算法较少, 尤其是针对 3D 模型的检索算法, 主要的原因是缺乏一种高效的具有较强 3D 模型特征描述能力的算法。现已提出很多 3D 模型检索算法, 主要分为基于几何和基于形状。基于几何的算法根据 3D 模型的几何特征分布进行匹配, 文献[1]提出一种基于球面调和函数的旋转不变量算法, 文献[2]分析并设计了一种针对任意 3D 模型的形状分布特征提取算法, 文献[3]提出一种计算 3D 模型的拓扑分布信息并进行相似比较, 文献[4]提出一种基于形状直方图的 3D 模型特征提取算法。基于形状的算法根据 3D 模型投影图形的相似度进行匹配, 文献[5]首次提出绘制二维轮廓图形匹配 3D 模型的算法, 文献[6]根据 2 个相似 3D 模型, 基于从不同角度观察都较相似的原理提出一种新的 3D 模型特征检索算法。本文利用 3D 模型投影图像的多种形状特征, 提出基于形状特征描述算子的 3D 模型检索算法。

2 3D 模型投影图像检索算法

在建立 3D 模型检索原型系统的过程中, 本文利用 3D 模型投影图像相似的思想提取 3D 模型投影图像的形状特征, 然后根据形状特征进行相似性比较。这种算法与基于形状算法的主要思想基本相似, 即如果 2 个 3D 模型相似, 则从不同视角看这 2 个 3D 模型也相似。

3D 模型投影图像检索算法具体步骤如下:

(1) 每个 3D 模型经过模型正规化处理之后, 从许多不同的角度进行图像投影, 如正视图、侧视图、俯视图和其他一些能较好描述 3D 模型形状特征的视角。“Conventional Airplane”模型的 3D 视图投影如图 1 所示。

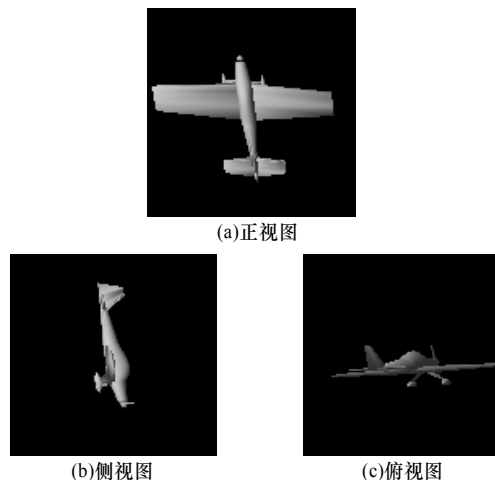


图 1 “Conventional Airplane”模型的 3D 视图投影

(2) 把 3D 模型投影图像转换为黑白二值图像, 然后利用形状特征描述算子提取投影图像的不同形状特征。其中, 形

基金项目: 地震行业基金资助项目“多点并发信息灾情识别与集成处理技术研究”(2006BAC13B03-02)

作者简介: 廖凯宁(1978—), 女, 工程师、硕士, 主研方向: 信息检索; 李志强, 研究员、博士; 孙 静, 工程师、硕士

收稿日期: 2010-01-07 **E-mail:** callalily_lkn@hotmail.com

状特征描述算子必须具有形状不变形、相似变换的健壮性、快速计算和存储空间较小等特点。

(3)计算每2个3D模型不同投影图像的形状特征相似度,其中,欧几里德距离算法在计算投影图像相似度方面具有较好效果。

第(1)步、第(2)步是整个3D模型投影图像相似算法的核心,尤其是形状特征描述算子的选择能在很大程度上影响3D模型的检索效果。

文献[7]指出基于形状的检索算法明显优于基于几何的检索算法,并分析现有基于形状的3D模型检索算法,得到每个3D模型的投影图像不宜过多,其原因是大量投影图像将占用更多模型特征存储空间,且以损耗存储空间为代价换取的检索性能提高并不明显。文献[8]分析了3D模型投影图像的特点,指出正视图、侧视图和俯视图是3个最基本最具有描述特征的投影图像,还分析了其他一些视角图像的特点。因此,本文算法第(1)步将对每个3D模型提取15个不同视角的投影图像,其中包括3个最基本的投影图像。

3 形状特征描述算子

在本文算法中,每个3D模型从15个视角提取不同的透视图像,本节介绍4种不同类型的形状描述算子:基于中心距离的傅里叶描述算子,Zernike不变矩,形状参数和离心率,并根据各种算子的特点提出一种基于权重关系的合成形状特征描述算子(Integrated Shape Feature Description operator, ISFD)。

3.1 基于中心距离的傅里叶描述算子

针对投影图像的形状特征,基于轮廓的提取算法能获取图像的轮廓特征,其中傅里叶算子在多种基于轮廓的提取算法中具有很好的计算效率和检索效果。文献[9]分析了多种形式的傅里叶描述算子,通过比较计算复杂度、健壮性和检索性能等参数,得出基于中心距离的傅里叶描述算子综合性能最佳。

傅里叶描述算子的主要思想是利用形状轮廓的封闭性提取形状的轮廓特征。形状轮廓的像素序列为

$$(x(t), y(t)), t = 0, 1, \dots, N-1$$

其中, N 是形状轮廓像素总数。中心距离 $r(t)$ 表示轮廓上像素到形状中心像素的距离,基于中心距离的傅里叶描述算子为

$$r(t) = ([x(t) - x_c]^2 + [y(t) - y_c]^2)^{1/2}, t = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} r(t) \exp\left(\frac{-j2\pi nt}{N}\right), n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

其中, a_n 表示傅里叶参数。为了具有缩放不变性,通过对每个傅里叶参数除以第1个非零参数 a_0 。基于中心距离的傅里叶描述算子具有相似变换的不变性,具体公式如下:

$$f_r = \left[\frac{|a_1|}{|a_0|}, \frac{|a_2|}{|a_0|}, \dots, \frac{|a_{N/2}|}{|a_0|} \right] \quad (3)$$

3.2 Zernike 不变矩

与基于轮廓的提取算法相比,基于区域的提取算法根据图像区域中所有二值点信息获取形状的整体区域特征。文献[10]比较了多种基于区域的提取算法,指出Zernike不变矩在抗噪性、信息冗余度和图像特征表征等方面具有更好的性能。

Zernike不变矩主要利用正交多项式理论提取图形区域特征:

$$V_{nm}(x, y) = V_{nm}(r \cos \theta, r \sin \theta) = R_{nm}(r) \exp(jm\theta) \quad (4)$$

其中, n 和 m 满足 $n \geq |m|$ 和 $n - |m| = \text{偶数}$, 且 $R_{nm}(r)$ 径向多项式为

$$R_{nm}(r) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} (-1)^s \frac{(n-s)!}{s! \left(\frac{n+|m|}{2} - s\right)! \left(\frac{n-|m|}{2} - s\right)!} r^{n-2s} \quad (5)$$

实际上,Zernike不变矩表示图形描述函数 $f(x, y)$ 在正交多项式的投影信息,因此, Z_{nm} 定义为

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \sum_{x, y} f(x, y) V_{nm}^*(x, y) = \frac{n+1}{\pi} \sum_{x, y} f(x, y) R_{nm}(r) \exp(-jm\theta) \quad (6)$$

其中, $x^2 + y^2 \leq 1$ 。Zernike不变矩参数 Z_{nm} 具有相似变换的不变性。

3.3 形状参数

区域面积和形状周长分别是2个基本的描述形状特征参数,形状参数(f)根据区域面积和形状周长计算得到:

$$f = \frac{\text{形状周长}^2}{4\pi \times \text{区域面积}} \quad (7)$$

3.4 离心率

形状的离心率(C)是一种有效的描述形状特征的描述算子,其表示如下:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \|(x_i, y_i) - (x_c, y_c)\| \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} [\|(x_i, y_i) - (x_c, y_c)\| - \mu]^2 \quad (9)$$

$$C = \mu / \sigma \quad (10)$$

3.5 基于权重关系的合成形状特征描述算子

针对上文4种表示形状特征的描述算子,基于轮廓的傅里叶描述算子能提取形状的轮廓信息,而不能描述形状的区域特征。基于区域的Zernike不变矩能较好地提取形状的区域信息,不能描述形状的轮廓特征。由此可见,虽然傅里叶描述算子和Zernike不变矩分别描述不同的形状特征,但不能同时获取形状的轮廓和区域特征。形状参数 FF 和离心率 C 只是简单地描述形状整体的特征参数,不能表示形状的其他信息。

每幅3D模型投影图像包括轮廓特征、区域特征和形状整体特征等3种主要形状信息,4种基本的描述算子仅能描述投影图像的某种特征。如果结合4种基本描述算子的优点来描述形状的多种特征信息,则能更好地表示每幅投影图像的特征,最终提高3D模型的检索效果。因此,利用式(3)、式(6)、式(7)、式(10)中的描述算子,提出一种基于权重关系的合成形状特征描述算子,具体公式如下

$$\begin{cases} I = \{w_1 \times FDS, w_2 \times ZMS, w_3 \times FF, w_4 \times Cir\} \\ \sum_{i=1}^4 w_i = 1 \end{cases} \quad (11)$$

其中, I 表示ISFD; w_i 表示每个基本描述算子在合成形状特征描述算子中的权重,如果参数 w_i 值越大,则对应的基本描述算子重要性越高。

在合成的形状特征描述算子中,利用基于中心距离的傅里叶描述算子前30个参数、Zernike不变矩36个参数(其中, $0 \leq n \leq 10$)、合成的形状特征描述算子表示每个3D模型仅有68个特征参数。

4 实验

实验使用的3D模型库下载于希腊ITI研究所,模型库共有213个3D模型,包括7个模型类,如直升机、人、车和

鱼等, 以及一个有 56 个模型的非具体模型类, ITI3D 模型库中的模型示意图如图 2 所示。3D 模型检索系统大多采用准确度-召回率曲线作为评价检索效果的参数指标, 其中, 准确度是检索出的相关模型数与检索出的模型总数的比率, 用来衡量检索算法的查准率; 召回率是检索出的相关模型数和模型库中所有相关模型数的比率, 用例衡量检索算法的查全率。

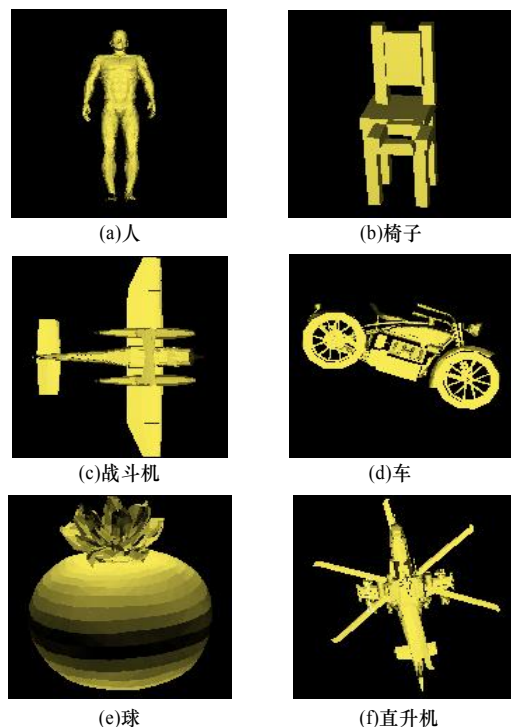


图 2 ITI3D 模型库中的模型示意图

实验首先对 4 种基本的形状特征描述算子进行比较, 其中, 形状参数(Form Factor, FF)和离心率(Circularity, Cir)检索效果较差, 而基于中心距离的傅里叶描述算子(FDs)和 Zernike 不变矩(ZMs)的检索效果较好。在 ISFD 中, FDs 和 ZMs 的权重大于 FF 和 Cir。本文实验对 ISFD 中不同算子的权重分别设置为: $w_1=0.4$, $w_2=0.4$, $w_3=0.1$ 和 $w_4=0.1$ 。5 种特征描述算子准确度与召回率的关系如图 3 所示。

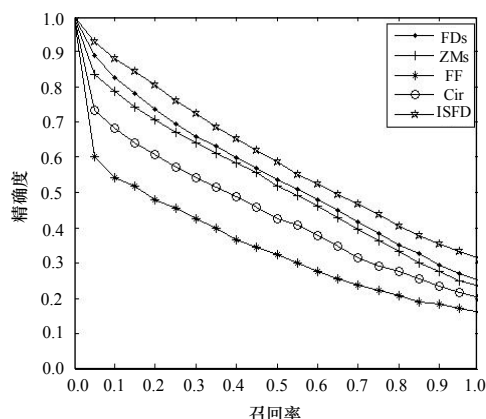


图 3 5 种特征描述算子准确度与召回率的关系

从图 3 可以看出, 合成的形状特征描述算子的检索性能明显优于其他 4 种基本特征描述算子, 比基于中心距离的傅里叶描述算子相比提高了 10.22%, 比 Zernike 不变矩提高了 15.30%。由此可见, 合成的形状特征描述算子较好地综合了 3D 模型投影图像的轮廓特征、区域特征和整体特征, 能更好地应用于 3D 模型检索系统中。

5 结束语

本文采用 3D 模型投影图像检索算法对每一个 3D 模型从 15 个视角获取模型的投影图像, 分析 4 种基本的形状特征描述算子, 提出一种合成的形状特征描述算子。实验结果表明, 本文算子明显优于 4 种基本的形状特征描述算子, 能更好地应用于 3D 模型检索系统。

参考文献

- [1] Kazhdan M, Funkhouser T, Rusinkiewicz S. Rotation Invariant Spherical Harmonic Representation of 3D Shape Descriptors[C]//Proc. of Eurographics Symposium on Geometry Processing. Aachen, Germany: [s. n.], 2003.
- [2] Osada R, Funkhouser T, Chazelle B, et al. Shape Distribution[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(4): 807-832.
- [3] Hilaga M, Shinagawa Y, Kohmura T, et al. Topology Matching for Fully Automatic Similarity Estimation of 3D Shapes[C]//Proc. of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Los Angeles, USA: ACM Press, 2001.
- [4] Ankerst M, Kastenmuller G, Kriegel H P, et al. Nearest Neighbor Classification in 3D Protein Databases[C]//Proc. of the 7th International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology. Heidelberg, Germany: [s. n.], 1999.
- [5] Min P, Chen J, Funkhouser T. A 2D Sketch Interface for a 3D Model Search Engine[C]//Proc. of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, USA: ACM Press, 2002.
- [6] Chen Dingyun, Tian Xiaopei, Shen Yute, et al. On Visual Similarity Based 3D Model Retrieval[J]. Computer Graphics Forum, 2003, 22(3): 223-232.
- [7] Shilane P, Min P, Kazhdan M, et al. The Princeton Shape Benchmark[Z]. (2005-03-15). <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>.
- [8] Funkhouser T, Min P, Kazhdan M, et al. A Search Engine for 3D Models[J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(1): 83-105.
- [9] Zhang Dengsheng, Lu Guojun. A Comparative Study of Fourier Descriptors for Shape Representation and Retrieval[C]//Proc. of the 5th Asian Conference on Computer Vision. Melbourne, Australia: [s. n.], 2002.
- [10] Teh Cho-Huak, Chin R T. On Image Analysis by the Methods of Moments[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, 10(4): 496-513.

编辑 陆燕菲