

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)11-1644-06

检索信息: 郭竞, 冯筠, 叶豪盛, 周刚. 相对角度直方图聚类在 3 维模型检索中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(11): 1644-1649

相对角度直方图聚类在 3 维模型检索中的应用

郭 竞¹⁾, 冯 筠^{1),2)}, 叶豪盛^{2),3)}, 周 刚¹⁾

¹⁾(西北大学信息科学与技术学院, 西安 710069) ²⁾(香港城市大学计算机科学系, 香港)

³⁾(香港城市大学多媒体及互联网技术创新应用中心, 香港)

摘 要: 提出一种基于相对角度分布和聚类的 3 维模型检索算法 RAC(relative-angle clustering)。定义模型表面点的相对角度分布函数, 作为模型新的特征量, 并对模型进行相对角度特征提取。经过实验证明相对角度特征对模型的几何形状分类效果较好。针对提取模型表面点的相对角度使得模型的特征量维数较大, 检索时间较长, 又使用聚类的方法对特征量进行进一步降维处理。实验结果表明与其他几种算法相比, RAC 检索效果更好。

关键词: 模型分类; 相对角度; 角度直方图; 聚类

Retrieval-angle clustering histogram and clustering for 3D model retrieval

GUO Jing¹⁾, FENG Jun^{1),2)}, YE Haosheng^{2),3)}, ZHOU Gang¹⁾

¹⁾(School of Information and Technology, Northwest University, Xi'an 710069)

²⁾(Department of Computer Science, City University of Hong Kong, Hong Kong, China)

³⁾(AIMTech Ceter, City University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract: In this paper, we propose a novel 3D model retrieval algorithm based on Relative angle-distribution and clustering (RAC). A geometric feature vector based on relative-angle distribution (RAD) of surface points is defined. The experimental results demonstrate that RAD is a good global feature for shape classification. To reduce the feature dimensions and improve the computational efficiency, clustering is employed. The model classification results show that compared with other methods, our algorithm RAC (relative angle clustering) achieves better retrieval accuracy and efficiency.

Keywords: model classification; relative-angle; histogram of angle; clustering

0 引 言

近年来, 海量 3 维模型数据库在虚拟手术、分子生物、文物遗产、计算机辅助设计等方面都扮演着重要角色。因此, 对模型进行有效的检索成为这些领域的一个重要课题。由于基于文本注释的 3 维检索过于依赖文本的自身含义, 导致用户由于理解偏差

而无法找到所需模型。因此, 基于内容的 3D 模型检索技术是该领域发展的主要方向。基于内容的 3 维模型检索的思想起源于 3 维模式识别、3 维模型匹配以及基于内容的图像检索^[1]。1997—1998 年, Paquist 等人^[2]最早对基于内容的 3 维模型检索技术进行研究。1999 年以后, 美国、德国、日本等国的研究人员相继投身于这个研究领域, 提出了许多新的检索技术, 并且研制了一些基于内容的 3 维模型检

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA01Z301); 国家自然科学基金项目(60873095)。

收稿日期: 2008-11-11; 改回日期: 2009-03-07

第一作者简介: 郭 竞(1981—), 女。讲师。西北大学信息科学与技术学院在读博士研究生。研究方向为图形图像处理、模式识别、3 维重建。E-mail: palada@sohu.com。

索实验系统,目前比较完善的有普林斯顿的 3 维模型搜索引擎^[3-4],台湾大学的 3 维模型检索系统^[5-6],康斯坦茨大学的 3 维模型相似搜索引擎^[7-8],但 3 维模型检索还存在不少问题有待进一步研究解决^[9]。

基于内容的 3D 模型检索技术主要可以分为三大方向:1) 基于形状的检索技术;2) 基于拓扑结构的检索技术;3) 基于图像比较的检索技术。其中基于形状的检索技术是当前研究的主流,其优点是从模型整体形状进行比较,忽略细节上的不同,比较接近人的视觉识别。根据使用的方法不同,基于形状的检索技术主要分为空域检索技术和频域检索技术。其中怎样对模型的全局特征和局部特征进行描述是该方向的主要难点。

空域检索技术是一种最直接的检索技术,它又可分为基于统计学方法、基于几何形状和基于视觉的算法。基于统计学方法通过统计数据来描述模型形状特征的算法,该算法着重模型的整体形状特征,忽略模型的局部特征。基于几何形状的算法通过模型的几何特征作为模型的全局特征描述算子。基于视觉的描述算法的关键是怎样用 2 维图形来描述 3 维模型。当前国外对检索算法主要的研究成果有基于统计的 Shape Distribution 算法^[10], Curvature Histograms^[11], Shape Histograms^[12];有基于视觉的 LFD 算法^[13], Spin Image Signatures^[14]。有基于几何的 Geometric moment 算法^[15]。国内也提出了一些检索算法,例如拓扑和形状特征结合的检索^[16],基于局部的模型检索^[17]等。

基于前面关于 3 维匹配点算法研究的基础^[18],提出了一种基于模型表面点的相对角度直方图聚类 RAC(relative angle clustering)的 3 维模型检索算法。由于角度分布的几何特性,使得特征向量满足模型特征提取时的要求:平移不变性,旋转不变性,缩放不变性和较高的噪声鲁棒性,并取得了较好的查全率和查准率。进而又采用聚类的方法对模型特征量进行有效降维,解决模型特征量维较大,检索时间较长的问题。实验结果表明,在不影响性能的情况下,降维后的检索速度大大提高。实验中使用了普林斯顿大学开放的数据库,将本文算法和 Shape Histograms 方法^[12],及 Shape Distribution 算法^[10]进行了对比,通过计算查全率-查准率(PVR 曲线)指标,结果是本文算法性能更好,并且速度较快。

1 基于相对角直方图的 K-均值聚类

笔者于 2008 年提出模型的相对角分布特征向量^[18],并将此向量应用于特征点的匹配。

由于角度直方图是对模型表面点与点之间角度的统计,所以经过统计得到的角度特征量维数较大,使得检索时间较长。假设 v_i, v_j, v_z 为模型表面上的点,当 v_i, v_j 两点间的距离 d 趋近于 0 时,根据文献^[18]相对角度特征定义不难证明顶点 v_i, v_z 和 v_j, v_z 形成的向量与主轴的夹角角度是相近的。因此通过聚类将距离 d 在一定范围内的点聚为一类。模型表面点聚类后的聚类中心点可以代表其周围点的角度特征,也可以说该类点的特征是相似的。所以使用聚类的方法找到特征相似的点,并把它们聚为一类。聚类后的特征量维数大大减少,在不影响检索效果的同时,使得检索速度得到很大提高。根据相对角直方图的分布特点,采用 K-均值聚类法。

假设模型 M 的角度直方图集合为 $\{h_i(M), i = 1, 2, \dots, n\}$,其中 n 为模型点的个数,每个 $h_i(M)$ 代表第 i 个点对应的直方图变量,现将此 n 个变量划分为 $K(3 \leq K \leq 30)$ 类,分别用 X_1, \dots, X_k 表示。通过聚类满足类间距离最大,类内距离最小的原则,确定每类模型的最佳聚类数。令 N_i 是第 i 类 X_i 中的变量数目, m_i 是这些变量的均值即第 i 类 X_i 的聚类中心,函数 $d(h_i, h_j)$ 为聚类时变量 x_i 与 x_j 之间的距离,该算法具体步骤如下:

1) 随机选择 k 个样本 m_1, \dots, m_k 作为初始聚类中心;

2) 如果 $d(h_i, m_p) \leq d(h_i, m_i), 1 \leq p \leq k, i = 1, \dots, k$,则分配 h_i 到第 p 类中;

3) 重新计算每个聚类的中心

$$m_i = \left(\sum_{h \in h_i} x \right) / N_i, i = 1, \dots, k;$$

4) 重复步骤 2) 和 3) 直到 $m_i, i = 1, \dots, k$ 不再变化。

为了实验系统的聚类性能,设计了两种聚类的方法,分别定义如下:

1.1 对图像模型的原始数据聚类(RAC)

1) 模型 X 由表面点集 N 组成,模型表面点数据为 $ODM_i(X), i = 1, \dots, n, n$ 为模型点的个数,采用上述确定最佳聚类数的方法,可以得到原始数据聚类的最佳聚类数 $best_clu$;

2) 对原始数据矩阵 $ODM_i(X), i = 1, \dots, n$ 进行聚类后, 各点的类编号为 $j, j = 1, \dots, best_clu$;

3) 将原始数据矩阵 $ODM_i(X), i = 1, \dots, n$ 中的第 i 个点和其类编号对应到模型的结果直方图矩阵 $RHM_i(X), i = 1, \dots, n$ 中相应的第 i 行上;

4) 得到模型的结果直方图矩阵 $RHM_i(X), i = 1, \dots, n$, 每个类编号 j 所代表的直方图为

$$DH_j(X) = \frac{\sum_{k=1}^{N_j} MH_{jk}(X)}{N_j}, j = 1, \dots, best_clu$$

其中 N_j 为直方图中行编号为 j 的总行数, 其中, N_{ji} 为原始数据相对角度特征向量的第 i 分量。 $MH_{jk}(X), j = 1, \dots, best_clu, k = 1, \dots, N_j$ 为模型 X 的整个结果直方图矩阵中属于第 j 类中第 k 行所代表的直方图;

5) 将由上步形成的 $best_clu$ 行的直方图 $DH(X)$ 作为该模型的新的直方图。

1.2 对图像模型的结果直方图聚类 (RAHC)

1) 模型 X 的相对角度直方图矩阵为 $RHM_i(X), i = 1, \dots, n$ 。采用上述确定最佳聚类数的方法, 可以得到结果直方图聚类的最佳聚类数 $best_clu'$;

2) 得到对于结果直方图 $RHM_i(X), i = 1, \dots, n$ 在最佳聚类数时各点的类编号 $j, j = 1, \dots, best_clu'$;

3) 得到每个类编号 j 所代表的直方图

$$DH_j(X) = \frac{\sum_{k=1}^{N_j} MH_{jk}(X)}{N_j}$$

$$j = 1, \dots, best_clu'$$

4) 将由上步形成的 $best_clu'$ 行的直方图 $DH'(X)$ 作为该模型新的直方图。

因为之前我们关于主轴的选取和角度正负的判断^[18]使得以结果直方图聚类时模型是先被分为 $RAngs_{ij} \subset [0, \pi)$ 和 $RAngs_{ij} \subset [\pi, 2\pi]$ 两部分后再进行聚类。

2 聚类后的相似度计算

通过比较两个模型聚类后的直方图的距离来判断两个模型是否相似。

假设 X, Y 分别为两个模型的直方图矩阵。 X_{ij}, X_{ij} 分别为矩阵中的元素。

1) 对两个模型的数据进行归一化, 令 $X_{ij} =$

$X_{ij}/M, Y_{ij} = Y_{ij}/N$, 则 X_{ij}, Y_{ij} 的值均介于 0 到 1 之间;

2) 计算第 1 个模型聚类后的直方图中每一行与第 2 个模型的聚类后的直方图中所有行的距离,

采用绝对值距离 $\sum_{j=1}^k |X_{ij} - Y_{ij}|, i, t$ 分别是第 1 个模型、第 2 个模型中聚类后直方图中的任意一行;

3) 对于第 1 个模型聚类后直方图中的每一行采用上面的距离公式来计算它与第 2 个模型聚类后直方图中的所有行距离中的最小值, 记为 $\min(X_i)$, i 是第 1 个模型聚类后直方图中的任意一行;

4) 计算以上所有最小值的平均值, 即 $avg = \left(\sum_{i=1}^{best_M} \min(X_i) \right) / best_M$;

5) 计算第 1 个模型与第 2 个模型的相似度 $Sim = 1 - avg/2$ 。

Sim 越大说明两个模型的相似程度越高。

3 实验结果和分析

使用普林斯顿大学提供的 3 维模型数据库作为测试数据库, 其中有动物、汽车、飞机、建筑等共 1 814 个 3 维模型。本文提取的模型相对角度特征作为模型的特征向量, 对特征向量进行聚类后按几何距离计算模型相似程度。采用第 2 节中的两种方式进行聚类, 聚类结果如图 1 所示, 图 2 为相对角度直方图。可以看出聚类之前的特征量维数较大, 如图 2(a), 而聚类后, 特征量明显减少如图 2(b)。经过对模型的大量实验, 我们发现对原始数据聚类 RAC 后的效果比对直方图聚类 RAHC (relative-angle histogram clustering) 的效果要好, 如图 3 所示。

最后对相对角度直方图聚类算法和 Shape Histograms 算法^[12]和 Shape Distribution 算法^[10], 在同样的数据库下进行比较。如图 4 所示, 在 Princeton 数据库中对船模型和人脸模型进行实验。其中 RA (Rang $K = 36$) 相对角度直方图算法, RAC 聚类的角度直方图算法, SH (Shape $L = 72$) 形状直方图算法和 SD 形状分布算法的检索结果 Precision-Recall (PVR) 曲线比较如图 4。从 PVR 曲线可以看出 RA 和 RAC 方法较优于 SH、SD 算法。在检索时间上, RAC、SH、SD 算法的特征量维数均为常数级, 所以速度相同; 而 RA 的特征量为平方级, 检索速度较慢。

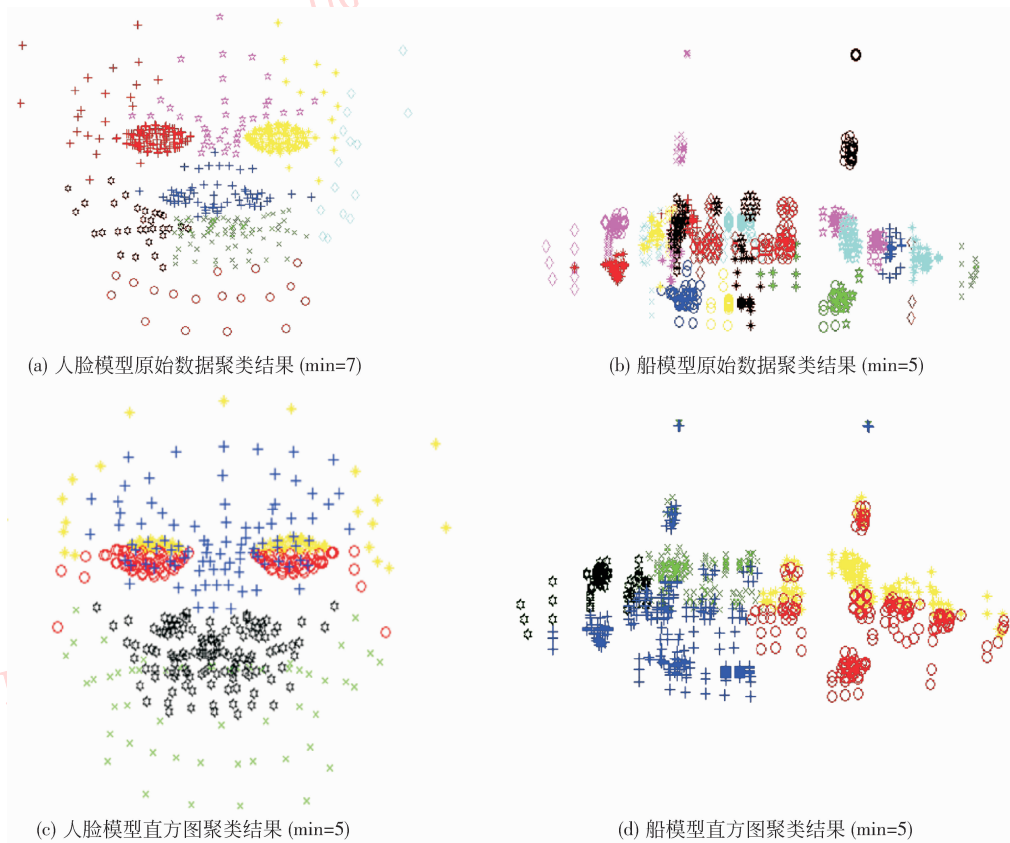


图 1 聚类示例图(相同颜色和符号表示为同一类)

Fig. 1 Example of clustering model

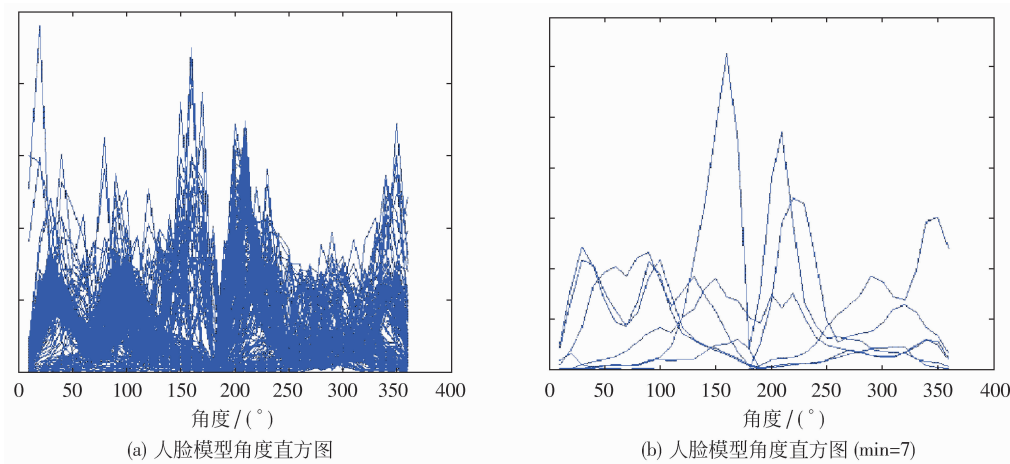


图 2 角度直方图

Fig. 2 Histograme of relative-angle

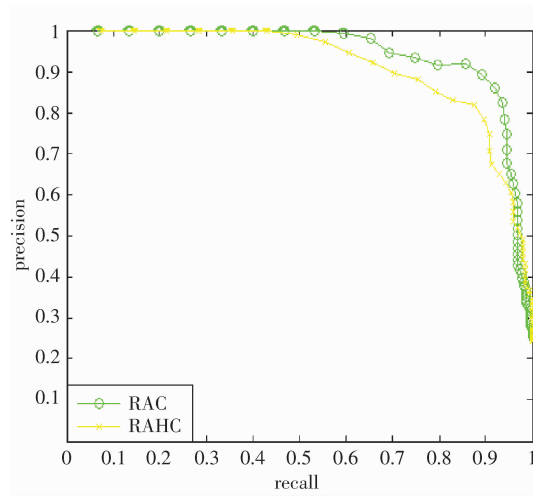


图 3 两种聚类方式的 PVR 曲线

Fig. 3 PVR curvy

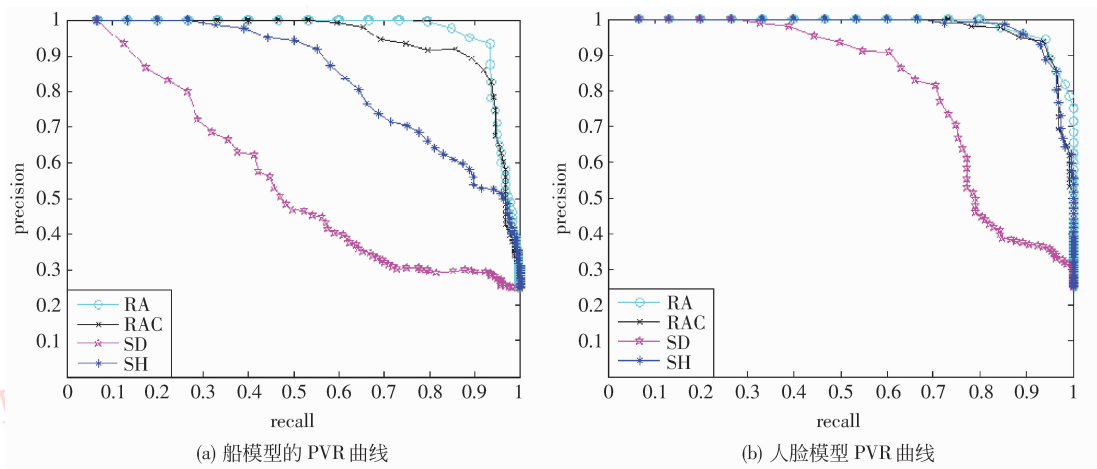


图 4 PVR 曲线

Fig. 4 PVR curvy

4 结 论

提出了一种全新的基于相对角度直方图和聚类的 3 维模型检索算法。并设计了两种聚类方式在普林斯顿数据库上进行实验。通过对一系列算法的实验发现,本文对原始数据聚类的算法(RAC)比 Shape Histograms^[12]和 Shape Distribution^[10]算法的检索率更好,并且检索速度更快。但基于角度分布的直方图与聚类的算法是对模型表面点相对角度分布的统计,因此只提取了模型的全局特征而丢失了模型的局部特征。今后还需在模型的局部特征提取上对算法进一步改进。

参考文献 (References)

[1] Zheng Bochuan, Pen Wei, Zhang Yun. A survey on 3D model retrieval technique [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(7) : 873-881. [郑伯川, 彭维, 张引. 3D 模型检索技术综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(7) : 873-881.]

[2] Paquet E. A query by content software for three-dimensional databases management [EB/OL]. [2009-03-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.

[3] David Dobkin. 3D model search engine [DB]. (2001-11) [2008-03-01]. <http://shape.cs.princeton.edu>.

[4] Min P, Halderman J A, Kazhdan M, et al. Early experiences

- with a 3D model search engine [EB/OL]. [2008-03-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.
- [5] Chen D Y. 3D Model Retrieval System [DB]. [2008-03-01]. <http://3d.csie.ntu.edu.tw>.
- [6] Chen D Y. On visual similarity based 3D model retrieval [EB/OL]. [2009-03-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.
- [7] Daniel A Keim. 3D model similarity search engine [DB]. [2009-03-01]. <http://infovis.uni-konstanz.de/research/projects/SimSearch3D/>.
- [8] Vranić D J. An improvement of rotation invariant 3D shape descriptor based on functions on concentric spheres [EB/OL]. [2009-03-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.
- [9] Funkhouser Thomas, Min Patrick, Kazhdan Michael, et al. A search engine for 3D models [J]. ACM Transaction Graphics, 2003, 22(1):83-105.
- [10] Osada, R, Funkhouser T, Chazelle B, et al. Shape distribution [J]. ACM Trans. Graph, 2002, 21(4): 807-832.
- [11] Vandeborre J P. A practical approach for 3D model indexing by combining local and global invariants [EB/OL]. [2009-03-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.
- [12] Mihael Ankerst, Gabi Kastenmüller, Hans-Peter Kriegel, et al. 3D Shape histograms for similarity search and classification in spatial databases [R]. Hong Kong: Computer Science, 1999.
- [13] Chen D Y. On visual similarity based 3D model retrieval [EB/OL]. [2008-03-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.
- [14] Assfalg J. Spin images for retrieval of 3D objects by local and global similarity [EB/OL]. [2008-05-01]. http://www.cityu.edu.hk/lib/eres/database/db_alumni.htm.
- [15] Elad M, Tal A, Ar S. Content based retrieval of VRML objects—An iterative and interactive approach [J]. EG Multimedia, 2001, 1(9):97-108.
- [16] Wang Fei, Zhang Shusheng, Bai Xiaoliang, et al. 3D Model retrieval based on both the topology and shape features [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(1):100-103. [王飞, 张树生, 白晓亮, 等 拓扑和形状特征相结合的三维模型检索 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(1):100-103.]
- [17] Bai Jing, Liu Yusheng, Gao Shuming. Multiresolutional retrieval of solid models based on local dilation [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(14):481-484. [白静, 刘玉生, 高曙明. 基于局部蔓延的多层次实体模型检索 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(14):481-484.]
- [18] Jun Feng, Horace H S. Robust point correspondence matching and similarity measuring for 3D models by relative angle-context distributions [J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(6): 761-775.