

# D2 分布与三维模型相似评价算法<sup>①</sup>

王海帅<sup>1</sup>, 冀振燕<sup>1</sup>, 贾丽伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(北京交通大学 软件学院, 北京 100044)

<sup>2</sup>(大连海事大学 信息科学技术学院, 大连 116026)

**摘要:** 概述了一种基于 D2 分布图的三维 CAD 模型相似评价算法, 在引入相关生活实例的基础上, 课题以直方图算法和相似评价算法为核心. 以模型获取→直方图计算→距离求值→相似度评定为主线索、以技术介绍→算法分析→优化评定为具体细节, 最后得出两 CAD 模型的相似度并做出相似评定.

**关键词:** 直方图; 分布函数; 相似评价; CAD 模型; 距离算法

## D2 Distribution and 3D Model Similarity Assessment Algorithm

WANG Hai-Shuai<sup>1</sup>, JI Zhen-Yan<sup>1</sup>, JIA Li-Wei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Software, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

<sup>2</sup>(Information Science Technology College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** This paper proposes and implements a 3D CAD model similarity assessment algorithm based the D2 distribution, and based on the life examples, this paper take the histogram algorithm and similarity assessment algorithm as the key to get model → histogram calculation → from the evaluation → similarity assessment of the main clues to technical presentations → algorithms → optimized for the specific details of the assessment. And finally we get the similarity and assessment.

**Key words:** histogram; distribution function; similar to the evaluation; CAD model; distance algorithm

物理世界模型的计算机表征、处理是动画、机械、生物学、医学等诸多领域的研究基础. 三维模型的相似评价旨在利用计算机比较三维模型, 衡量它们之间的相似程度, 并给出一种衡量相似程度的量化指标. 在此基于 ACIS 几何引擎, 研究基于 D2 分布图的三维 CAD 模型间的相似性.

研究包括三维 CAD 模型 D2 描述符的提取及基于 D2 描述符的相似评价, 其中: D2 描述符的提取包括三维 CAD 模型表面随节点的选取, D2 的计算, D2 分布的统计及表征; 基于 D2 描述的相似评价包括距离的定义和计算.

本文第二节部分均采用二维的量, 第三节及以后采用的是三维的量, 用来计算直方图, 相似度比较使用. 另外算法是在三维空间和二维空间下交互进行的.

## 1 图形图像引例

要计算图像的相似度, 就要找出图像的特征. 常用的图像特征有颜色特征、纹理特征、形状特征和空间关系特征等. 颜色特征的计算是最常用的, 分为直方图、颜色集、颜色矩、聚合向量和相关图等<sup>[7]</sup>. 直方图能够描述一幅图像中颜色的全局分布, 而且容易理解和实现, 所以大部分图像的相似度计算均使用它. 为满足通用性, 特选取下面两张测试图片<sup>[8]</sup>, 如图 1 所示. 规格为 256x256 的分辨率.

转化为规则图像之后, 采用 Python 程序设计, 定义直方图获取函数 `histogram()`, 然后调用 `img.histogram()` 方法获得直方图数据, 本文直方图均计算采用 RGB 计算, 最后得出如 2 所示的两直方图:

得到规则图像之后, 图像的相似度计算就转化为

① 收稿时间:2012-06-23;收到修改稿时间:2012-08-27

直方图的距离计算了, 本文依照如公式(1)进行直方图相似度的定量度量



图 1 测试(1)图片

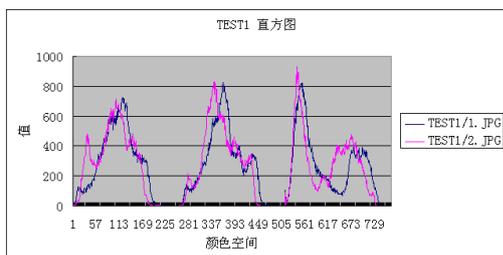


图 2 测试(1)的直方图

$$Sim(G, S) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ 1 - \frac{|g_i - s_i|}{Max(g_i, s_i)} \right] \quad (1)$$

其中, G,S 为直方图, N 为颜色空间样点数.  $g_i$  和  $s_i$  分别为图 1 的两张测试图片的直方图纵坐标值, 即样点数. 然后进行了归一化处理. 由于我们评定的结果是  $sim(G,S)$  越大, 表示越相似, 但是由图中可知, 两曲线越逼近越相似, 所以需要 1 去跟归一化的结果做差. 最后再求取平均数, 即可得到相似度  $sim(G,S)$ . 可知: 选取不同的 N, 即不同的颜色空间样点数, 多次测试计算(论文针对图 1 的两张图片, 选取不同的 N, 进行了 6 次测试), 得到不同的图像相似度, 测试结果如下:

- test1: 63.322%      test2: 66.950%
- test3: 51.990%      test4: 70.401%
- test5: 32.755%      test6: 42.203%

得到了以上六组测试结果: 相似度大小顺序  $test5 < test6 < test3 < test1 < test2 < test4$ , 结合肉眼对测试用例的观察, 这个程序工作得还算可以. 不过  $test\_case\_4$  的结果表明, 两幅图相似度竟然达到 70.401%, 实际上图 1 的两幅图达不到这么高. 显然暴露了直方图的缺点: 直方图只是图像中颜色的全局分布的描述, 无法描述颜色的局部分布和色彩所处的位置. 如果按照  $test\_case\_4$ , 只描述全局分布的话,

70.401% 也可以描述为下图, 即它的规则图 3 所示:



图 3 test\_case\_4 的规则图

显而易见, 上图的色彩局部分布有相当大的不同, 但事实上它们的全局直方图相当相似, 如图 4 所示:

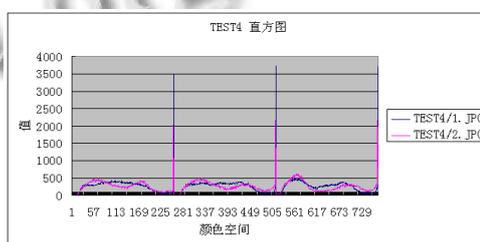


图 4 test\_case\_4 的直方图

把规则图像分块, 再对相应的小块进行相似度计算, 最后根据各小块的平均相似度来反映整个图片的相似度. 在实验中, 将规则图像分为 4x4 块, 每块的分辨率为 64x64, 如图 5 所示.

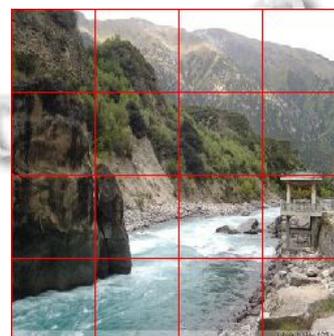


图 5 图像的分割

改进后, 算法已经能够在一定的程序上反映色彩的局部分布和颜色所处的位置, 可以比较好的弥补全局直方图算法的不足. 新的算法计算出来的结果如下:

- test1: 56.273%      test2: 54.925%
- test3: 49.326%      test4: 40.254%
- test5: 30.776%      test6: 39.460%

可以看到, test\_case\_4 的相似度由 70.4% 下降到 40.25%, 基本上跟肉眼的判断是切合的; 另外其它图像的相似度略有下降, 这是因为加入了位置因子之影响. 从而可见基于分块的直方图相似算法是简单有效的.

## 2 直方图算法

算法是在三维空间进行的, 需要将三维模型离散化处理, 进行投影, 然后计算获取相关数据.

### 2.1 分布函数的简介与选取

#### 2.1.1 五种形状函数

五种形状函数, 即五种不同的分布算法, 都是用来表征显示一个模型采用的算法. Osada 讨论分析了五种几何函数, 如图 6 所示, 这五种函数分别是: 三个顶点构成的角度、顶点到中心的距离、任意两个顶点之间的距离、任意三个顶点组成三角片的面积和任意四个顶点组成四面体的体积<sup>[4]</sup>.

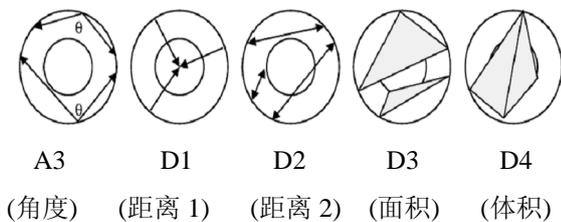


图 6 五种形状函数<sup>[1]</sup>

五种形状函数<sup>[3]</sup>:

A3: 模型表面上三个随机点之间的夹角;

D1: 固定点到模型表面上一个随机点之间的距离, 作者在文中选用模型的质心作为固定点;

D2: 模型表面上两随机点之间的距离;

D3: 模型表面上三个随机点形成三角形面积的平方根;

D4: 模型表面上四个随机点形成四面体体积的立方根.

我们以 D2 分布为例, 简要概述 D2 算法流程: 首先打开一个三维模型, 对模型进行离散化处理, 模型表面便生成一个个的离散点. 然后根据模型表面划分小面, 即一个很小的区域, 在小面中随机选取离散点, 进而计算两个小面中随机点之间的距离, 对距离类型判定后, 最后进行 D2 距离的统计和表征, 然后绘制直方图.

### 2.1.2 几种形状函数的比较

Osada 对 A3 分布、D1 分布、D2 分布、D3 分布、D4 分布做了大量的实验, 分析结果证明, 认为任意两个顶点之间的距离作为几何函数的效果最好<sup>[3]</sup>. 结果也表明, D2 分布函数对模型的描述能力优于其它四种形状函数, 尤其是对一些较为简单的三维模型, 其区别能力较强且计算简单.

为了增强 D2 形状描述符的表征能力, Ip 等人提出根据两点间连线是否仅仅经过模型内部、外部或都经过将 D2 分布分为 IN、OUT、MIXED 三种, 实现对 CAD 模型的相似比较<sup>[2]</sup>:

IN: 内部距离, 连接两点的线完全在模型内部;

OUT: 外部距离, 连接两点的线完全在模型外部;

MIXED: 混合距离, 连接两点的线在模型的外部 and 内部都有.

实验表明,  $IN\% + OUT\% + MIXED\% = ALL\% = 100\%$

### 2.2 直方图算法整体流程图

直方图算法包括许许多多的子算法, 主流程如图 7 所示:

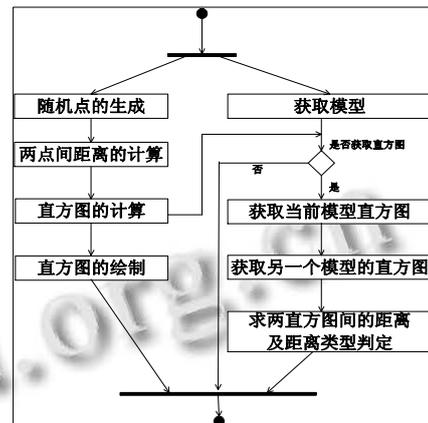


图 7 直方图算法整体流程图

#### 2.2.1 直方图的计算算法

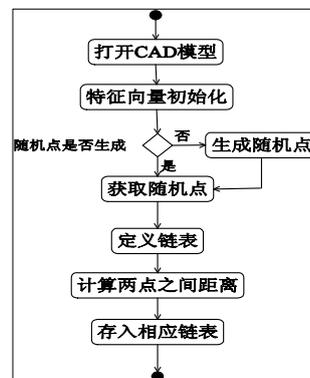


图 8 直方图计算的基本流程图

### 2.2.2 随机点生成算法

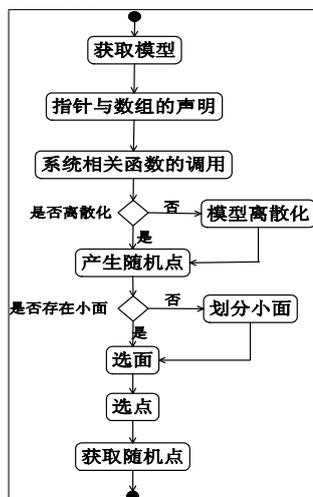


图 9 随机点生成的基本流程图

### 2.2.3 距离类型的判定算法

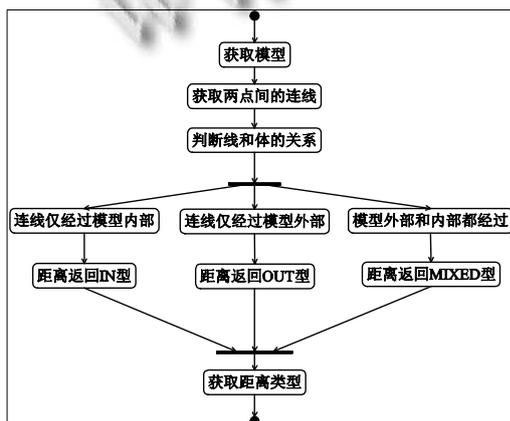


图 10 距离类型判定的基本流程图

## 3 相似评价算法

相似评价算法是在二维空间下进行的，得到直方图后，在二维坐标系里进行相似度求取评价。

相似评价算法的目的在于利用计算机去衡量两个模型的相似度，在此用 D2 分布函数计算距离，然后求得直方图，最后制定一个相似标准去得到两模型的相似程度描述。

CAD 模型具有很重要的重用价值，主要体现在 [01]: 1)重用模型的设计信息，在已有模型的基础上通过修改局部结构来满足新的需求，从而有效地缩短产品开发周期，降低产品成本; 2)利用已有的相似模型对

新产品进行经济性评估; 3)借鉴已有相似模型进行新产品加工工艺设计; 4)重用已有模型有利于产品生产的系列化。

### 3.1 相似度标准的选取

两直方图间的距离采用欧式加权距离，算法设计中，对计算出的距离进行了归一化处理，使得距离再到 1 之间，从而方便了相似度标准的选取。

算法设计中，设 similarity 代表相似度，则制定以下相似度标准:

- 0.8 < similarity <= 1.0 "两个模型极其相似"
- 0.6 <= similarity < 0.8 "两个模型基本相似"
- 0.4 <= similarity < 0.6 "两个模型稍微相似"
- 0.0 <= similarity < 0.4 "两个模型完全不同"

### 3.2 距离描述子算法

距离描述子算法<sup>[6]</sup>主要功能是计算一个模型的直方图，通过距离来描述。下面绘制了该算法的基本流程图，如图 11 所示:



图 11 距离描述子算法的流程图

### 3.3 两直方图间的距离算法

欧式加权距离简单介绍: 经典的直方图匹配算法是计算直方图之间的欧氏距离 (Euclidean distance)，即对于两个直方图向量 H1 和 H2，它们之间的欧氏距离计算公式如(2):

$$d_{H_1 H_2} = \sqrt{(H_1 - E_1)^2 + (H_2 - E_2)^2} \quad (2)$$

其中 E1 和 E2 分别是两幅图像的平均灰度<sup>[5]</sup>。该算法的流程图如图 12 所示:

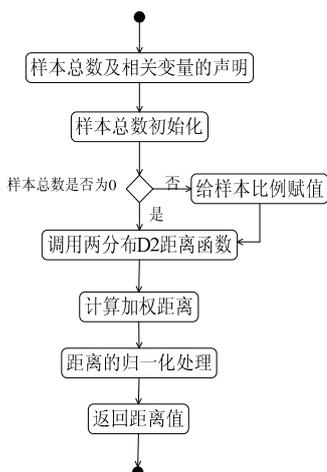


图 12 两直方图间的距离流程图

### 3.4 两分布的 D2 距离算法



图 13 两分布的 D2 距离流程图

### 3.5 相似度评定算法

求出 D2 距离以后, 可根据以下公式计算相似度, 先求出差值, 再做归一化处理, 然后根据标准进行相似评定.

$$Sim(G, S) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ 1 - \frac{|g_i - s_i|}{Max(g_i, s_i)} \right]$$

## 4 实验结果

系统最终实现: 给定两个 CAD 模型, 可以求出相似度, 并做出相似评价. 如下图:

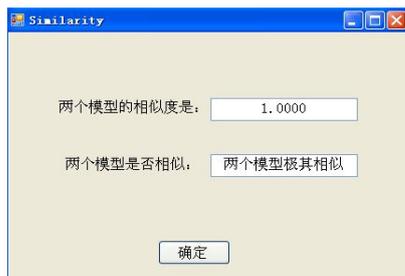


图 14 同一模型相似比较

1) 同一个模型之间毫无疑问完全相似, 对其进行比较验证后, 得出如图 14 所示的结果. 本课题中将相似度 1.0000 划分到极其相似的情况中.

2) 对于任意两个不同模型进行比较, 如图 15 两个模型进行比较, 可以得出如图 16 的比较结果.

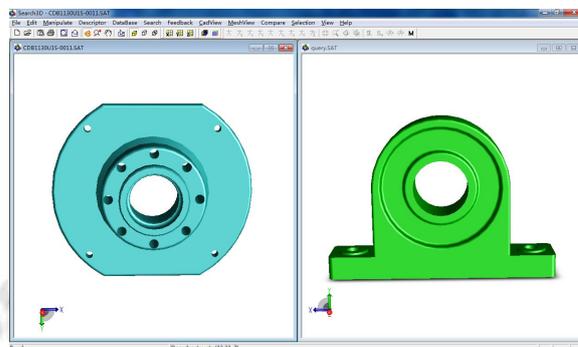


图 15 不同模型相似比较

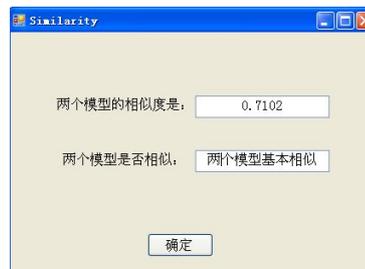


图 16 不同模型相似比较结果

### 参考文献

- Osada R, Funkhouser T, Chazelle B, Dobkin D. Matching 3D models with shape distributions. Proc. of the International Conference on Shape Modeling & Applications. 2001. Genova, Italy. 2001. 154-166.
- Cheuk Yiu Ip, Lapadat D, Sieger L, Regli WC. Using shape distributions to compare solid models. Proc. of the Seventh ACM Symposium on Solid modeling and Applications, 2002. ACM: Saarbrücken, Germany. 273-280.
- 白静. 面向设计重用的三维 CAD 模型检索[博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- 章志勇. 三维模型几何相似性比较的研究[博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- 朱磊. 一种基于直方图统计特征的直方图匹配算法的研究. 南京: 解放军理工大学, 2007.
- 廖凯宁, 李志强, 孙静. 基于形状特征描述算子的 3D 模型检索. 中国地震局地质研究所, 2010.
- 郭丽, 孙兴华, 黄元元, 杨静宇. 距离分布直方图及其在商标图案检索中的应用. 南京: 南京理工大学, 2001.
- http://blog.csdn.net/lanphaday/archive/2008/04/24/2325027.aspx 网站, 例子引用, 2011.05.