基于手绘草图的三维模型检索

摘 要

随着三维模型广泛地应用于我国制造加工技术和数字化建模技术，三维模型的分类与检索已经成为一个重要的研究方向。由于三维模型内在的复杂 性，本文采用三维模型降维的方式，利用二维视图作为三维模型的检索条件， 降低检索成本。本文基于视图的算法包括利用二维草图检索与利用投影视图 检索。考虑到普通用户未必拥有可以直接检索的二维视图或者三维模型本体，所以本文第一部分利用手绘草图完成粗滤检索。第二部分利用甄选出的二维 视图进行详细分类与检索。利用双重检索达到迅速且准确的三维模型检索的 目的。

手绘草图检索部分首先对三维模型按照固定投影的方法获取二维视图 集。在二维视图集中选取轮廓最长的 24 幅二维视图作为三维模型的特征视图 集。然后将手绘草图进行降噪处理，并构建全局视图特征和二维形状分布直 方图的加权集合作为集成特征描述子。利用集成特征描述子对手绘草图和二 维视图进行相似性评估来检索三维模型。实验结果表明:本文中算法的检索 性能优于大多数其它基于手绘草图的三维模型检索算法，对区域特征和边界轮廓特征具有更高的辨识度。在检索出的视图中选取出理想的三维模型，作为下一步骤中视图检索的条件。

二维视图检索部分首先采用球体将选取出的三维模型完全包住，获取三 维模型固定投影下的二维投影视图集;然后采用 Apriori 算法选出其中的典型 视图，将典型视图作为卷积神经网的输入;在 AlexNet 模型的基础上进行参 数调整，并将其用于三维模型分类与检索;最后选取正向传播和反向传播相 结合的方式对卷积神经网络进行训练，以提高其泛化性能。实验表明，该方法能够提高三维模型分类与检索的准确性和效率。

关键词　三维模型检索;二维草图检索;集成特征描述子

3D model retrieval based on hand drawn sketch

**Abstract**

With wide application of three-dimensional (3D) models in China's manufacturing, processing technology and digital modeling technology, it becomes an important research direction to classify and retrieve 3D models. 3D model has inherent complexity. The method of reducing the dimension of 3D model is adopted in this paper. Two-dimensional (2D) image is used as the condition of searching 3D model, in order to decrease retrieval costs further. 2D image retrieval algorithm in this article consists of 2D sketch retrieval algorithm as well as 2D view retrieval one. Ordinary users may not have 2D view and 3D model to be retrieved directly. Rough filtering retrieval is performed with rough-hand sketch in the first part of this article. The selected 2D views are applied to detail classification and retrieval in the second part. This paper utilizes double search to achieve the goal of retrieving 3D models fast and accurately.

The set of 3D model’s 2D views is obtained according to the fixed projection method in freehand sketch retrieval part. From 2D view set, 24 two-dimensional views with the longest contours are selected as the feature view set of 3D model. Then, the hand-drawn sketch is denoised. A weighted set of global view features and 2D shape distribution histogram is constructed as the integrated feature descriptor. The integrated feature descriptor is used to evaluate the similarity between hand-drawn sketches and 2D views in order to retrieve 3D models. Experimental results show that the performance of the algorithm in this paper is better than those of other 3D model retrieval methods based on hand-drawn sketches. It has higher recognition of regional features and contour ones. An ideal 3D model is selected from the retrieved views as the condition of view retrieval in next step.

Firstly, a sphere is used to envelop the selected 3D model completely in 2D view retrieval part. The purpose is to obtain a set of 2D projection views for 3D

- II -

model along a fixed perspective. Secondly, Apriori algorithm is adopted to select typical views as the input of convolutional neural network. Based on AlexNet model, parameters are adjusted and used for 3D model classification and retrieval. Thirdly, convolutional neural network is optimized by combining forward propagation and back one in order to improve its generalization performance. Experiments show that this method can improve accuracy and efficiency of 3D model classification and retrieval.

**Keywords** retrieving 3D models, 2D sketch retrieval, integrated feature descriptor

目 录

摘要 I

Abstract II

[第1章 绪论 1](#_Toc71634801)

[1.1 课题背景 1](#_Toc71634802)

[1.2 研究意义 1](#_Toc71634803)

[1.3 国内外研究现状 2](#_Toc71634804)

[1.4 课题的主要研究内容 3](#_Toc71634805)

[1.5 本文文章结构安排 3](#_Toc71634806)

[第2章 基于手绘草图的三维模型检索的总体框架 5](#_Toc71634807)

[2.1 三维模型检索的体系架构 5](#_Toc71634808)

[2.2 三维模型检索的处理流程 6](#_Toc71634809)

[2.2.1 三维模型投影的处理架构 6](#_Toc71634810)

[2.2.2 三维模型检索的处理架构 6](#_Toc71634811)

[2.3 本章小结 7](#_Toc71634812)

[第3章 三维模型的处理 8](#_Toc71634813)

[3.1 OFF模型文件格式解析及渲染 8](#_Toc71634814)

[3.2 固定视角的模型投影技术 9](#_Toc71634815)

[3.3 三维模型的光照和材质添加 12](#_Toc71634816)

[3.4 三维模型的空间变化 14](#_Toc71634817)

[3.5 三维模型投影系统结果 15](#_Toc71634818)

[3.6 本章小结 16](#_Toc71634819)

[第4章 草图的绘制处理 17](#_Toc71634820)

[4.1 直线类图形绘制 17](#_Toc71634821)

[4.1.1 直线 18](#_Toc71634822)

[4.1.2 矩形 18](#_Toc71634823)

[4.1.3 三角形 18](#_Toc71634824)

[4.2 曲线图形绘制 19](#_Toc71634825)

[4.3 圆形绘制 20](#_Toc71634826)

[4.4 铅笔线绘制 21](#_Toc71634827)

[4.5 草图绘制的结果 21](#_Toc71634828)

[4.6 本章小结 22](#_Toc71634829)

[第5章 草图及三维模型的特征提取 23](#_Toc71634830)

[5.1 全局试图特征描述符 23](#_Toc71634831)

[5.1.1 Zernike矩 23](#_Toc71634832)

[5.1.2 Fourier描述符 25](#_Toc71634833)

[5.2 D2描述符 26](#_Toc71634834)

[5.3 集成描述符 27](#_Toc71634835)

[5.4 本章小结 28](#_Toc71634836)

[第6章 基于手绘草图的三维模型检索 29](#_Toc71634837)

[6.1 相似性计算 29](#_Toc71634838)

[6.1.1 欧几里得距离 30](#_Toc71634839)

[6.1.2 曼哈顿距离 30](#_Toc71634840)

[6.1.3 切比雪夫距离 30](#_Toc71634841)

[6.1.4 闵可夫斯基距离 31](#_Toc71634842)

[6.1.5 马氏距离 31](#_Toc71634843)

[6.2 基于手绘草图的三维模型检索结果 32](#_Toc71634844)

[6.3 本章小结 33](#_Toc71634845)

[结论 34](#_Toc71634846)

[致谢 35](#_Toc71634847)

[参考文献 36](#_Toc71634848)

[附录A 38](#_Toc71634849)

[附录B 39](#_Toc71634850)

[附录C 40](#_Toc71634851)

# 绪论

## 课题背景

随着三维建模相关技术的进步尤其是三维扫描设备的成熟及大众化推广，互联网空间已经积累了大量可分享的三维模型，且模型数量呈持续剧增之势。譬如，用户可以直接从谷歌三维仓库(3D Warehouse)下载海量三维模型;著名的3D 模型交易平台 TurboSquid 目前已拥有超过 30 万个模型。为充分利用已有的三维模型，需要发展便捷、高效、可靠的三维形状(模型)检索引擎。三维形状检索即通过特定的交互操作从数据库中查找出符合用户意向的三维形状。其中，检索的对象可以是整个模型(如一张椅子)，也可以是模型的一部分(如椅子的把手)。

三维模型不仅在数量方面快速增长，而且应用领域也越来越广泛。在工业产品设计、建筑设计、虚拟现实、计算机仿真、多媒体教学、分子生物学、教育、三维游戏和影视动画中都广泛地使用了三维模型，三维数据模型库也已经越来越普遍。在互联网上，也涌现出越来越多的三维模型库。三维模型已经成为 MPEG-7 标准模型的一个重要研究部分。因此，三维模型的检索是当今图形检索中的一大热点

## 研究意义

企业要想在激烈的市场竞争中抓住商机，生产出满足用户需求的产品，从中获取利润，就必须考虑降低设计和加工成本。研究调查表明：在产品设计过程中，只有20%左右的设计需要从头作起；有40%的设计可以通过直接重用已有设计来完成；另外40%的设计可以对已有设计作适当修改而得到。如果每次生产新产品时，都从头选材，绘制图纸，设计加工方案，不仅耗时而且也增加了成本。在生产过程中，经常会出现重复设计的现象，其本质原因是没有高效的CAD模型检索工具。CAD模型检索无疑会缩短开发周期，提高设计效率，为企业带来更多的利益。重用已有的CAD模型也会让企业节约更多的成本。

随着三维CAD模型的数量和种类急剧增加，CAD模型库的规模也随之变大。据统计目前全世界已有300多亿个三维模型。三维模型结构复杂种类繁多，如何能够精确地从模型库中寻找满足用户设计意图的模型已变得越来越重要了。因此，三维CAD模型检索技术正受到国内外专家和学者的广泛关注。

三维CAD模型检索是计算图形学和计算机辅助设计(Computer Aided Design，CAD)领域中的一个重要研究课题，也是近年来这些领域的一个研究热点。该研究不仅对三维CAD模型重用具有很高的实用价值，而且也大大地加深了人们对计算机辅助设计和人工智能等问题的理解，促进相关学科的发展。

## 国内外研究现状

近年来，国内的对图形检索的研究也有了更进一步的发展，目前国内对于三维图形检索的研究中，关于草图识别方法主要包括以下几类：

(1)基于收集统计数据和资料的识别方法，通过对草图中的各类线型进行数理统计，并依靠统计得到的信息进行识别。

(2)基于模糊类的识别方法，运用模糊处理相关原理和技术，对于草图位置、笔划速度等绘制特征参数来进行识别。

(3)基于交互的几何框架识别方法，对于降噪后的草图进行笔划特征的剖析，再通过笔划中所体现出来的几何特征找出相似因变量，利用笔划构成的角度信息与预设阈值进行比对和归类，实现草图识别。

(4)基于滤波器和神经网络的识别方法，该方法是对滤波器进行构建以分类笔划。

基于手绘草图的三维模型检索，虽然不同的使用者会根据自己的主观意向来对同一个模型进行不同的描述，但是一个模型的组成是固定不变的。举例来说，一个显示器，是由底座和屏幕组成的。屏幕是类矩形的，屏幕一定要在底座上方，并且屏幕远大于底座。因此根据使用者绘制的草图，可以确定出用户的检索目标。Sezgin T M 等[1]提出了一种能够识别出线，圆等几何图形的算法，Li B 等[2]开发了一种基于监督学习的正能草图识别器，可以正确的获得草图的所表达出的语义。Juefei[3]建立了基本的基于草图的三维场景检索基准，并在该基准上评估了14种基于草图检索的检索方法。Zhu[4]将三维图形投影到二维空间，并使用自动编码器对二维图像进行特征学习。用深度学习特征对传统局部图像描述子进行补充。Konstantinos等[5]和周燕等[6]利用三维模型的二维全景表示作为卷积神经网络的输入，利用卷积神经网络来计算特征。张云峰[7]利用图像和三维模型表述信息的互补性来建立图像与模型的关系。张艺琨等[8]在Canny边缘信息的基础上,进一步提取形状上下文特征描述全局信息,融合ORB特征和形状上下文特征得到一个新的特征表示三维模型。李海生等[9]提出一种基于模型内二面角分布直方图的特征描述方法。安勃卿[10]则利用深度学习技术解决基于手绘草图的三维模型检索。

## 课题的主要研究内容

对三维模型检索策略进行研究。在分析二维视图特征定义和三维模型相似性计算的基础上，探索一套基于草图的三维模型检索方法。从不同视角对三维模型投影获取对应的二维视图。计算草图与三维模型每一幅二维视图之间的相似性。选择最大相似性数值作为草图与三维模型之间的相似性。同时，开发一个基于草图的三维模型检索系统。

通过阅读大量的文献，对国内外三维模型检索方法的起源、发展和趋势有 了深刻的理解，分析并总结目前所面临的问题与不足，对三维模型的检索方法 进行了仔细分析和深入研究，本文主要研究内容为以下几个部分:

1)从不同的视角对三维模型投影获取对应的二维视图，搜集所有的二维视图形成最优视图集合。

2)综合利用多种特征来描述草图和三维模型的二维视图，使用欧氏距离来计算草图和二维视图之间的相似性。以三维模型的二维视图集为基础来计算草图和三维模型之间的相似性。

3)开发一个三维模型检索系统，从模型库中找出与草图最相似的三维模型，并显示多个相似的三维模型排序列表。

## 本文文章结构安排

对三维模型检索策略进行研究。在分析二维视图特征定义和三维模型相似性计算的基础上，探索一套基于草图的三维模型检索方法。从不同视角对三维模型投影获取对应的二维视图。计算草图与三维模型每一幅二维视图之间的相似性。选择最大相似性数值作为草图与三维模型之间的相似性。同时，开发一个基于草图的三维模型检索系统。论文共有6章，各章的内 容结构安排如下:

第1章，绪论。本章首先简要介绍了关于三维模型检索的研究背景及意义，并论述了目前基于二维视图的三维模型在国内外的研究现状，以及目前存在的问题，然后介绍了本文课题来源及主要研究内容，最后对本文的章节安排进行陈述。

第2章，基于手绘草图的三维模型检索的总体框架。该系统主要包括两大部分，一个是模型投影的处理，另一个是检索系统的处理。针对这两大部分进流程梳理与介绍。

第3章，三维模型的处理。本章主要介绍了本文实验所需的数据集合，解析了使用的模型格式，具体介绍了各种投影方式坐标空间的变化以及光照效果的添加。将模型进行渲染，得到合适的三维模型，并进行投影得到二维视图集。

第4章，草图的绘制处理。本章主要介绍了手绘草图画板的设计。在硬渲染的基础上，采用软渲染的算法，实现了基本图形的绘制，包括直线，矩形，三角形，圆形，曲线和铅笔线的绘制。

第5章，草图及三维模型的特征提取。本章提出由全局视图描述符包括Zernike矩和Fourier描述符和二维形状分布结合的集成描述子，用于提取手绘草图与二维视图的特征，以此来解决单一描述符对二维视图特征提取不全面的问题。

第6章，基于手绘草图的三维模型检索。本章主要对比了几种距离计算方法，以此选出一种最好的距离来计算草图与二维视图的相似性。

最后对全文的工作进行总结并对未来发展进行了展望。

# 基于手绘草图的三维模型检索的总体框架

## 三维模型检索的体系架构

本文实现的检索系统是基于手绘草图的三维模型检索。基于手绘草图的三维模型检索主要包括手绘草图的绘制、手绘草图的特征提取、三维模型的渲染、三维模型的固定投影、投影视图集的特征提取、相似度比较。图 2-1 所示为系统的总体框架。

1.手绘草图的绘制。用户可以自行在在纸张上绘制简易草图，并上传到检索系统中，或者用户可以在系统中给定的简易绘图板中绘制草图，绘图板上集合了绘制草图的部分所需的工具(直线，矩形，三角形，圆形，曲线，铅笔线)。

2.手绘草图的特征提取。本文提出了由全局视图特征和D2描述符结合的集成描述符作为新的描述符，全局视图特征是 Zernike 矩和Fourier描述符结合而成，用此描述符提取手绘草图的特征检索三维模型。

3.三维模型的渲染。本系统的三维模型采用的是Net40。该模型库中含有40类不同的三维模型。并且该模型的存储文件格式为OFF文件格式。因此有一个简易渲染器可以渲染出所有模型，并且该渲染器集成了一些基础操作(模型的旋转，缩放，移动，光照材质的添加以及修改)。

4. 三维模型的固定投影。直接用二维草图检索三维模 型，由于维度的问题导致特征相差较大，本文的方法是进行三维模型的降维处理，即通过投影的方式将三维模型变成二维视图的表示。

5. 投影视图集的特征提取。采用和提取草图特征一样的方法提取模型的特征。

6. 相似度比较。用距离公式计算出与草图最相近的 8 个检索模型。

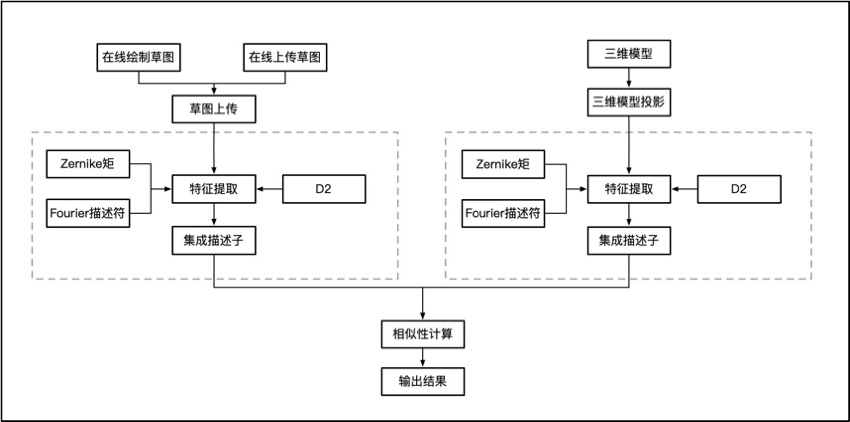


图2-1 系统的总体框架

## 三维模型检索的处理流程

### 三维模型投影的处理架构

基于手绘草图的三维模投影过程如图 2-2 所示。先对OFF格式的模型进行解析，将模型导入系统后，给模型添加材质和各种光照效果，接着对模型进行平移，旋转，缩放。在渲染出的三维模型中，按照一定的角度，进行投影。

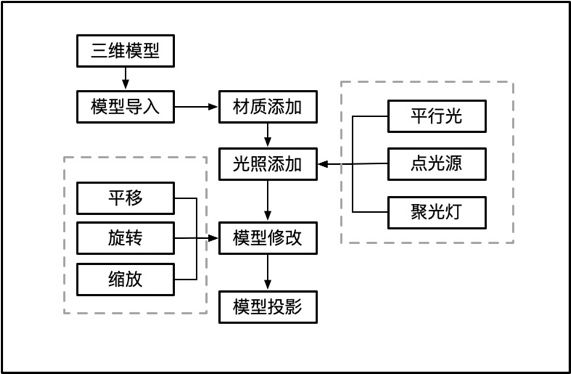


图2-2 三维模型投影的处理架构

### 三维模型检索的处理架构

基于手绘草图的三维模型检索过程分为在线检索与线下检索两个阶段，如图 2-3 所示。

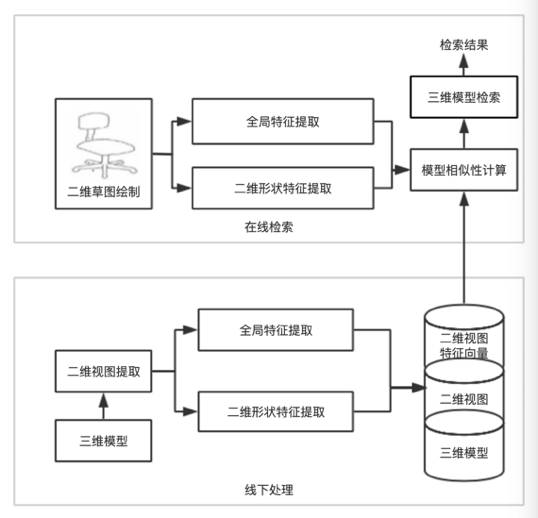


图2-3 三维模型检索的处理架构

在线下检索过程中，首先利用固定投影的方法对三维模型进行降维处理，获取6张三维模型库的二维视图集，最后利用集成描述子提取最优视图集的全局视图特征与二维形状特征，加权得到 55维集成描述特征，并存入数据库。在线上用户检索阶段，首先用户进行人工手绘草图，接着利用集成描述子提取集成特征。再与数据库内保存的三维模型的集成特征进行相似度比较。按相似度从大到小依次排序，相似度最高的前 8 个模型显示在检索界面。

## 本章小结

本章主要介绍了三维模型检索算法的两部分内容，一部分是三维模型投影的完成流程，包括了模型的渲染，光照，材质的添加以及模型的修改包括了旋转，平移，和缩放。另一部分是完整的检索流程，包括基于草图的三维模型检索流程以分析了各部分模块的功能与作用，给出了流程图。

# 三维模型的处理

## OFF模型文件格式解析及渲染

本系统的三维模型采用的是ModelNet40。该模型库中含有40类不同的三维模型，并且该模型的存储文件格式为OFF文件格式。要实现模型的读取、绘制，我们首先需要知道模型是如何存储在文件中的。通常模型是由网格组成的，且一般为三角网格。这是因为其它多边形网格可以容易地剖分为三角形，并且三点共面可以保证平面性以及可以容易地定义内外方向，进行插值等操作。因此，需要先解析OFF文件格式。OFF文件用于表示给定了表面多边形的模型的几何体。这里的多边形可以有任意数量的顶点。Net40中的OFF文件遵循以下标准。OFF文件全是以OFF关键字开始的ASCII文件。下一行说明顶点的数量、面片的数量、边的数量。边的数量可以安全地省略。 顶点按每行一个列出x、y、z坐标。在顶点列表后，面片按照每行一个列表。对于每个面片，顶点的数量是指定的，接下来是顶点的索引列表。如图3-1所示，这是一个浴缸的OFF格式模型。

文本

中度可信度描述已自动生成

图3-1 OFF模型

现在，主流的存储模型的数据结构有面列表，邻接矩阵，以及半边结构。面列表是存储面中顶点的三元组(Vertex1, Vertex2, Vertex3)它的优点是方便而紧凑，可表达非流行网格，缺点是不能有效地支持点、面之间的邻接关系查询。邻接矩阵是表示顶点之间相邻关系的矩阵。它的优点是支持顶点之间的邻接信息V-V(Vertex to Vertex)的高效查询、支持非流行网格。它的缺点是没有边的显示表达、不支持V-F(Vertex to Face)，V-E(Vertex to Edge)，E-V(Edge to Vertex)，F-E(Face to Edge)，E-F(Edge to Face)的快速查询。而半边结构是记录所有的面、边和顶点，包括几何信息、拓扑信息、附属属性，流行于大部分集合建模应用。它的优点是所有查询操作时间复杂度均为O(1)，所有编辑操作时间复杂度均为)(1)。它的缺点是只能表达流行网格。在该系统中，我采用的是面列表的数据结构。读取模型的流程图如图3-2所示。

图示

描述已自动生成

图3-2 模型流程图

## 固定视角的模型投影技术

该系统是是基于手绘草图的检索。目前主流的研究方法一种是获取较为理想的最优视图集合，以此作为检索的数据库，来增加检索的成功率；另一种则是探索出一种较为合适的特征描述符，来当模型的特征向量，以此增加检索的准确率。本文是将一个模型的最优视图定义为6张二维视图集。采用固定视角的投影技术。

因为用户所绘制的草图的二维的，而模型是三维的，因此需要将三维模型进行降维处理。避免后续相似性计算时因维数灾难而带来的额外的时间上的开销。此外，不同的用户在绘制二维的草图的时候，事实上已经对三维空间的物体做了一个降维处理。绘制的是一个固定视角的物体的投影。因此，为了适应不同用户可能绘制不同视角下的同一物体。并且考虑到了检索系统的效率，本系统只获取了同一个模型的六个不同视角的投影，并以此组成该模型的最优视图集。在尽可能包含用户所绘制物体的视角的同时，减少因视图集合过多冗余而造成的时间上的额外开销。

为了解决草图和模型在维度上的不统一，**Su【】**等人采用了固定视角的方法。该方法的具体过程是，将模型放在水平平面上，使得模型竖直向上。对于每一个充当检索数据库的三维模型，在其水平面以上 30度角位置，每隔30度设置一个摄像机，摄像机指向三维模型的中心，每个摄像机获取一张该模型的二维视图。如图所示3-3。该投影方法可以生成12张视图。此外，对于不满足直立向上的模型，将模型周围的正二十面体上的二十个顶点上放置相机。并以此来获取视图。并组成最优视图集。



图3-3 三维模型投影

**潘婷【】**提出一种基于球体投影的三维模型检索方法。如图3-4所示用来解决针对域不匹配问题。在对三维模型进行预处理后，在三维模型外围外接一个球体， 在该球体半圆弧上间隔 30°的地方放置一个摄像机，并确保照相机镜头垂直于模型质心同摄像机之间的连线。在该摄像机每获取一张视图后，将半圆弧旋转 30°再重复该步骤，直至半圆弧回归原位。如图所示。之后使用高斯差分和贝塞尔曲线完成线图的提取;利用草图和投影图像之间的关系构建分类器，以获取模型的最优视图。

图示

描述已自动生成

图3-4 球体投影

**Christopher M. Cyr[]**等以规定的间隔（5度）对观察球进行采样，如图3-5所示给出了物体视球空间被划分为若干区域，每个区域对应着一个二维视图。并在迭代过程中，使用曲率匹配和视图相似群组来定义形状相似度量将视图组合成各个方面。之后将得到的视图集输入数据库中。



图3-5 物体视球空间

在进行模型的投影的时候，计算机图形学中，比较常用的两种投影分别是平行投影变化(正交投影)和中心投影变换(透视投影)。如图3-6所示。两者之间的区别在于正交投影采用的投影射线之间是相互平行的，而透视投影变换采用的投影射线则是来源于选取的一个公共点，射线之间以椎体的方式投向三维模型。本系统采用的是中心投影即透视投影，因为中心投影更加符合用户绘制草图时的近大远小的绘制方法。

图表, 雷达图, 折线图

描述已自动生成

图3-6 正交投影和透视投影

本文所采用的固定投影的思想是，在Su的方法上进行一定的贱货将待投影的三维模型固定于中央，选择固定的角度和固定的投影数量进行投影。对于每一个三维模型，在水平面以上 30度角位置，每隔60度放置一个虚拟摄像机，指向三维模型的中心，该投影方法可以生成6张视图。这6张视图便组成该模型的最优视图集。

## 三维模型的光照和材质添加

本系统中，在读入OFF模型后，会自动计算该模型的各个顶点的法向量。有了法向量后，本系统可以为模型添加光照效果。采用的Phong光照模型。Phong光照模型的主要构建模块包括3个组件：环境照明，漫射照明和镜面照明。Phong光照模型的组成结果如图3-7所示。

电视游戏的萤幕截图

描述已自动生成

图3-7 Phong光照模型

环境光：光通常不是来自单个光源，而是来自散布在我们周围的许多光源，即使它们不是立即可见的。光的特性之一是，它可以在多个方向上散射和反弹，到达不直接可见的点。因此，光可以在其他表面上反射，并间接影响对象的照明。使用一种小的恒定（浅色）颜色，将其添加到对象碎片的最终最终颜色中，因此即使在没有直接光源的情况下，看起来也总会有一些散射光。物体上一点P的环境光光强可以表示为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑1 ) |

表示来自周围环境的入射光强，为材质的环境反射率。

漫反射光：模拟灯光对象对对象的方向性影响。这是照明模型中视觉上最重要的部分。物体的一部分面对光源越多，它就会变得越亮。Lambert余弦定律总结了漫反射光强度与光线入射方向和物体表面的法向量之间的夹角相关。当 = 0时，物体表面正好垂直于光线方向，这是获得的光照强度最大；当 = 90时物体表面与光线方向平行，此时光线照射不到物体，光的强度最弱；最后，物体的表面转向到光线的背面，此时物体对应的表面接受不到光照。物体上一点P的漫反射光强表示为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑2 ) |

为光源发出的入射光强，为材质的漫反射率，为入射光与物体表面法向量之间的夹角，称为入射角。

镜面反射光：镜面光成分模拟的是物体表面光滑时反射的高亮的光，镜面光反映的通常是光的颜色，而不是物体的颜色。物体上一点P的镜面反射光的光强可以表示为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑3 ) |

为入射光光强，为材质的镜面反射率，镜面反射光光强与成正比。

计算漫反射和镜面光成分时，要考虑光源和顶点位置之间向量L、法向量N、反射方向R、观察者和顶点位置之间的向量V之间的关系。已经光线的衰弱情况。因此，Phong光照模型可以被定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑4) |

f(d)表示光照的衰弱，可以定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑5) |

为常数衰减因子，为线性衰减因子，二次衰减因子，d为光源位置到物体上点P的距离。

基于Phong光照模型的材质。通过多次实验，得到数据如表3-1 所示。

表3-1 Phong光照模型的材质

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材质名称 | 环境光参数（rgba） | 漫发射参数（rgba） | 镜面反射参数（rgba） | 高光指数(float) |
| 黄铜 | R:0.329412, G:0.223529, B:0.027451, A:1.000000, | R:0.780392, G:0.568627, B:0.113725, 1.000000, | R:0.992157, G:0.941176, B:0.807843, 1.000000, | 27.897400, |
| 青铜 | R:0.212500, G:0.127500, B:0.054000, A:.000000, | R:0.714000, G:0.428400, B:0.181440, 1.000000, | R:0.393548, G:0.271906, 0 B:.166721, 1.000000, | 25.600000, |
| 铬 | R:0.250000, G:0.250000, B:0.250000, A:1.000000, | R:0.400000, G:0.400000, B:0.400000, A:1.000000, | R:0.774597, G:0.774597, B:0.774597, A:1.000000, | 76.800003, |
| 金 | R:0.247250, G:0.199500, 0.074500, A:1.000000, | R:0.751640, G:0.606480, 0.226480, A:1.000000, | R:0.628281, G:0.555802, B:0.366065, A:1.000000, | 51.200001, |
| 翡翠 | R:0.021500, G:0.174500, B:0.021500, A:0.550000, | R:0.075680, G:0.614240, B:0.075680, A:0.550000, | R:0.633000, G:0.727811, B:0.633000, A:0.550000, | 76.800003, |
| 黑曜石 | R:0.053750, G:0.050000, B:0.066250, A:0.820000, | R:0.182750, G:0.170000, B:0.225250, A:0.820000, | R:0.332741, G:0.328634, B:0.346435, A:0.820000, | 38.400002, |

## 三维模型的空间变化

在渲染模型中，一个很重要的功能就是对模型进行变化。把变换看成是一组顶点移动到一个新的位置的过程，这一组顶点描述成一个或者多个几何对象。尽管把一个订单移动到另一个顶点位置有许多方式。但是把一组对象从一个位置移动到另一个位置，且他们之间的空间关系保持不变，极狐总是只有一种变换方式。因此，尽管可以找到多个矩阵，把渲染后的模型的某个顶点从一个位置移动到另一个位置，单是只存在一个矩阵，把它应用到该模型的全部的顶点后，该模型的大小仍然保持不变。

平移操作。定义平移为这样的一种操作运算，它把所有的点沿着同一个方向移动相同的距离。因此确定平移变换只需要确定一个位置矢量。平移便就是在原始向量的基础上加上另一个向量从而获得一个在不同位置的新向量的过程，从而在位移向量基础上移动了原始向量。具体的公式为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑6 ) |

缩放变换。缩放是非刚体仿射变换，可以合适的选择缩放，平移，旋转的组合次序，得到任何仿射变换。定义缩放变换是使得几何对象变大或者变小。缩放分为两种情况。一个是各个方向上的均匀缩放变换。另一个是单个方向上的缩放变换。

缩放变换有一个固定点，因此要定义一个缩放变化，必须先确定一个固定点、缩放方向、缩放因子。如果，对象沿着缩放方向变大；如果在(0,1)之间，对象沿着缩放方向变小；如果为负值，表示以固定点为中心沿着缩放方向的反射变换。由于确定一个固定的位置和3个独立缩放因子，因此缩放有6个自由度。具体的公式为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑7 ) |

旋转变换。旋转是一个比较难定义的概念，它需要较多的参数。它是于标架无关且具有普遍意义。需要3个参数。固定点，旋转角，以及旋转轴所在的直线或者矢量。给定某个固定点，则旋转有3个自由度。使用三角函数，给定一个角度，可以把一个向量变换为一个经过旋转的新向量。这通常是使用一系列正弦和余弦函数（一般简称sin和cos）各种巧妙的组合得到的。旋转矩阵在3D空间中每个单位轴都有不同定义，旋转角度用θ表示，则具体公式为：

绕X轴旋转：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑8 ) |

绕Y轴旋转：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑9 ) |

绕Z轴旋转：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 3‑10 ) |

## 三维模型投影系统结果

本文的三维模型的投影系统采用OpenGL和OpenCV为几何造型平台，采用ImGui为UI界面，使用C++语言编写。实现了一个简易渲染器，主要的功能有：读取和现实模型；旋转，缩放，移动模型；对模型添加不同的光照效果(平行光，点光源，聚光灯)；不同的材质效果；三维模型的投影。该渲染器的框架界面如图3-8所示。



图3-8 渲染器的框架界面图

用户步骤包括如下几步：

步骤1.选择需要渲染的三维模型。

步骤2.使用鼠标来旋转，缩放，移动三维模型。

步骤3.调节光照效果，可选择平行光，点光源，聚光灯，可以分别调整这些光的环境光，漫反射光和镜面反射光。

步骤4.调节三维模型的材质。

步骤5.按下键盘’a’和’s’ 以固定水平面60度来旋转三维模型。

步骤6.按下保存按钮，保存该模型的一张二维视图。

步骤7.按下自动截图按钮，批量处理三维模型，以获取不同三维模型的二维视图集。

本文采用了ModelNet40作为模型数据库。对该数据库的部分模型进行渲染，渲染后的结果如图3-9所示。

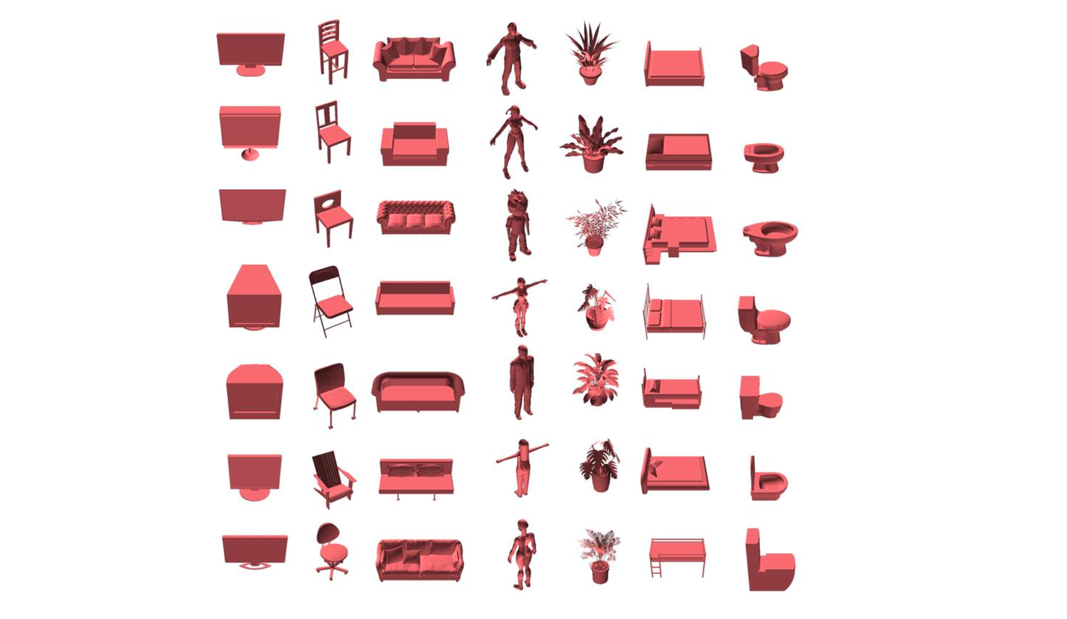


图3-9 部分模型

## 本章小结

本章主要介绍了检索系统中用到的数据集 ModelNet-40，说明了如何解析OFF模型文件格式，并渲染并且加入基于Phong光照模型的平行光，点光源和聚光灯以及材质效果。提出了基于草图检索算法的视图集选择方法。在草图检索算法中采用固定投影的方法，将获得的6张投影作为一个模型的二维视图集。

# 草图的绘制处理

设计一个二维的绘图板，提供用户在线绘制草图的功能呢。程序界面的大小为了避免不同操作系统以及不同的分辨率，默认为800 X600。屏幕显示的是一张黑色的背景，可以在上面绘图，点击鼠标右键弹出绘图板的可选菜单栏，上面有不同的绘图功能以及操作功能。：基本图形的绘制(点，直线，矩形，三角形，圆形，曲线，铅笔线)；实现橡皮筋技术；基本图形的修改(橡皮擦技术，草图保存技术)。

## 直线类图形绘制

直线类图形的绘制采用了Bresenham算法。Bresenham算法在主位移方向上每次递增一个单位。另一个方向上的增量为0或者1，这取决于像素点雨理想直线的距离，这一距离定义为d。

如图4-1 Bresenham直线算法所示，该直线斜率在区间0-1中，因此X方向为主要的位移方向。假设为当前像素，为理想直线与下一垂直网格的交点。并且假设该直线的起点为且位于网格点上，所以可以定义的初始值为0。

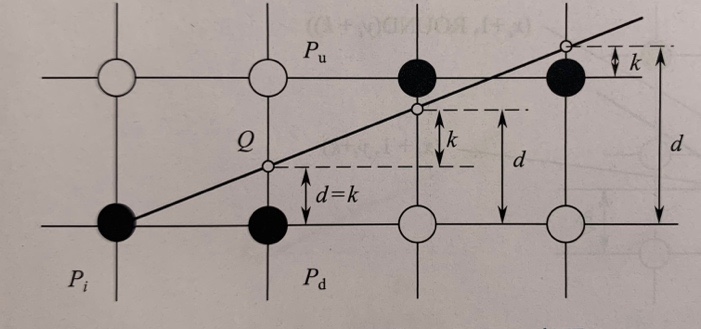


图4-1 Bresenham直线算法

沿着X方向递增一个单位，即可以得到。下一个候选点为或者。根据Q点的位置来选择或者。而Q点的位置是由直线的斜率所决定的。Q点与像素点的误差项为。当时，像素距离Q点更近，选择，反之选择。若Q点到这两个像素点的距离相等，选择任一像素均可。约定选择。

因此，可以得到一个简单的的递推公式：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑1 ) |

其中，该递推公式的关键在于计算误差项。沿着X方向递推一个单位，有。一旦Y方向向上走了一步，就将其减1。由于只需要检查误差项的符号。因此，定义，来消除小数所带来的影响。改写上述的递推公式可以得到：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑2) |

取。沿着X方向每更新一个单位，则有。当不小于0的时候，下一个像素点更新为。同时将更新为-1。反之，下一个像素点更新为。

### 直线

点击直线功能的按钮后，在绘图面板上，实现画直线的功能，在屏幕的鼠标的当前点的位置画下一个黑点，移动鼠标，按下的第一个点与此时鼠标的位置上的点，连成一条直线。当鼠标按键抬起的时候，直线生成，不再变化。当鼠标移动的时候，直线生成，但根据当前鼠标的位置进行改变。达到一个橡皮筋的效果。

### 矩形

点击矩形功能的按钮后，在绘图面板上，实现画矩形的功能，在屏幕的鼠标的当前点的位置画下一个黑点，移动鼠标，按下的第一个点与此时鼠标的位置上的点，连成一个矩形。当鼠标按键抬起的时候，矩形生成，不再变化。当鼠标移动的时候，矩形生成，但根据当前鼠标的位置进行改变。达到一个橡皮筋的效果。鼠标的两个点的位置关系如图4-2所示。



图4-2 矩形绘制的位置关系

### 三角形

点击三角功能的按钮后，在绘图面板上，实现画三角形的功能，在屏幕的鼠标的当前点的位置画下一个黑点，移动鼠标，按下的第一个点与此时鼠标的位置上的点，连成一个三角形。当鼠标按键抬起的时候，矩形生成，不再变化。当鼠标移动的时候，三角形生成，但根据当前鼠标的位置进行改变。达到一个橡皮筋的效果。鼠标的两个点的位置关系如图4-3所示。

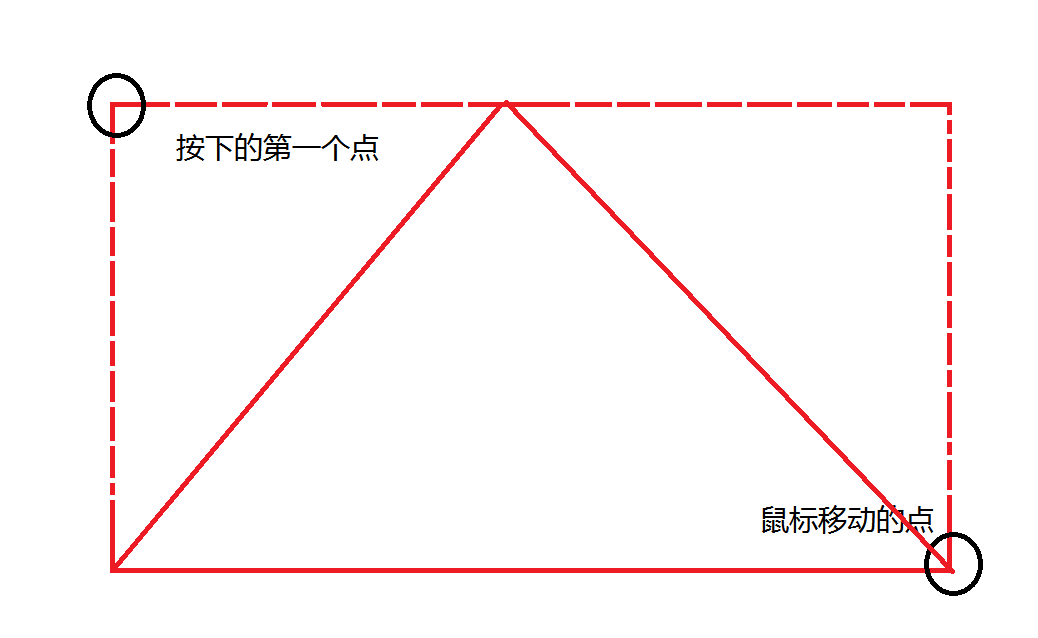


图4-3 三角形绘制的位置关系

## 曲线图形绘制

选择曲线按钮可以在屏幕中通过鼠标点击任意四个点来绘制出一段三次被贝塞尔曲线。

给定n+1个控制点，则n次贝塞尔曲线定位为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑3 ) |

其中，为贝塞尔曲线的基函数，其表达式可以定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑4) |

当n=3的时候，贝塞尔曲线的控制多边形有4个控制点，将设其分别为，贝塞尔曲线是三次多项式如图4-4所示**。**



图4-4 三次贝塞尔曲线

将该类贝塞尔曲线称其为三次贝塞尔曲线，将其定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑5 ) |

拆分开，既可以得到：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑6 ) |

写成矩阵形式为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑7 ) |

## 圆形绘制

对于圆形的绘制，常用的有三种方法：第一种是采用Bresenham中点画圆法来绘制一个圆，具体思路与Bresenham绘制直线相似。第二种方法是采用细分的方法，将一个正多边形进行大量的细分，当多边形的变数足够多，多边形的边长足够小的时候，便可以得到一个近似的圆。第三种方法是采用贝塞尔曲线绘制一段圆弧，将多段圆弧拼接起来，便可以得到一个完整的圆。

本系统采用的是第三种方法，使用一段三次贝塞尔曲线可以模拟出1/4的单位圆。如图4-5所示。假定的坐标为(0,1)，的坐标为(m,1)，的坐标为(1,m)，的坐标为(1,0)。

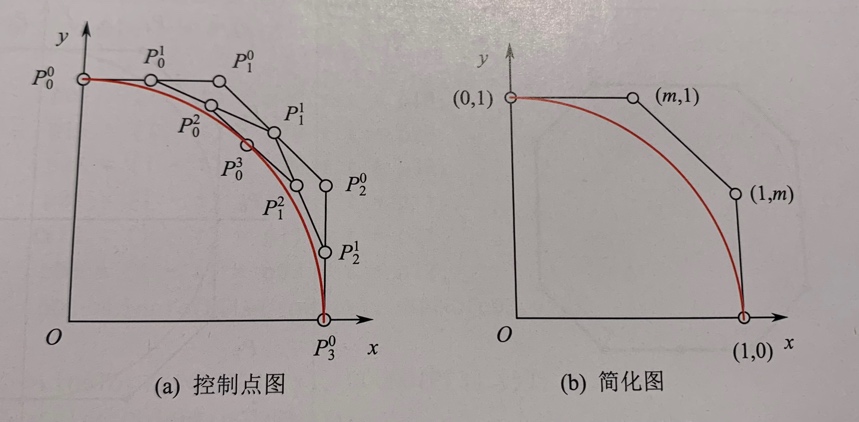


图4-5 贝塞尔曲线模拟1/4圆弧

对于一段三次贝塞尔钱，其参数表达式为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑8 ) |

将代入，对于圆弧的中点，取t=0.5，则有：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 4‑9 ) |

将控制点的坐标带入，可以得到一个m的近似值0.5523，称其为魔术常数。

点击圆形功能的按钮后，在绘图面板上，实现画正圆形/椭圆的功能，在屏幕的鼠标的当前点的位置画下一个黑点，移动鼠标，按下的第一个点与此时鼠标的位置上的点，连成一个圆形。当鼠标按键抬起的时候，圆形生成，不再变化。当鼠标移动的时候，圆形生成，但根据当前鼠标的位置进行改变。达到一个橡皮筋的效果。根据鼠标的位置，显示为圆形或椭圆。鼠标的两个点的位置关系如图4-6所示。

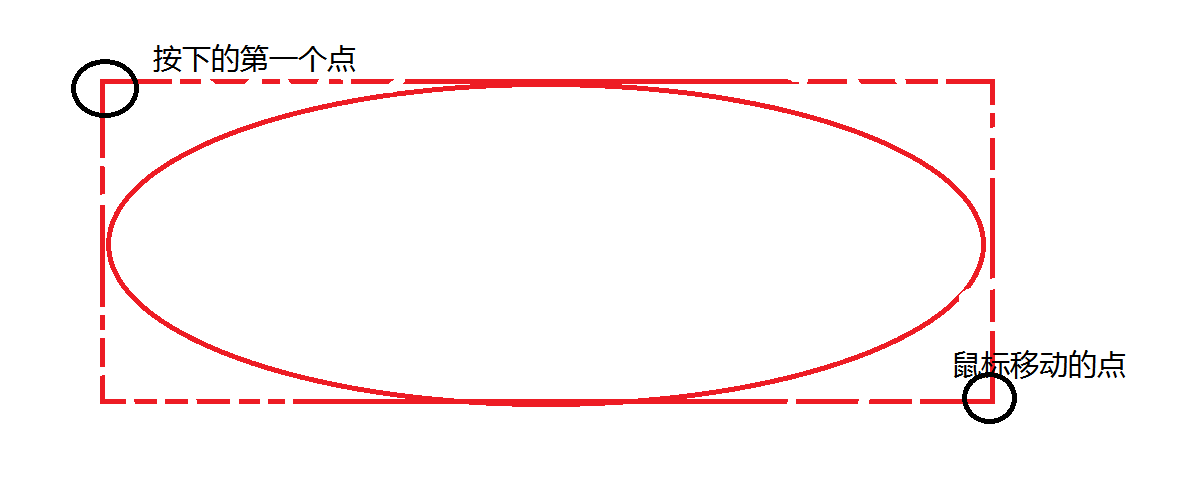


图4-6 圆形绘制的位置关系

## 铅笔线绘制

点击铅笔功能的按钮后，在绘图面板上，实现现实生活中的铅笔功能，在屏幕的鼠标的当前点的位置画下一个黑点，移动鼠标，这些黑点就会连接成任意的线，可以是直线，也可以是曲线。

## 草图绘制的结果

本文的三维模型的投影系统采用OpenGL和OpenCV为几何造型平台，采用MFC为UI界面，使用C++语言编写。实现了一个简易草图画板，主要的功能有：基本图形的绘制(点，直线，矩形，三角形，圆形，曲线，铅笔线)和基本图形的修改(橡皮擦技术，草图保存技术)该简易草图画板的框架界面如图4-7所示。用户步骤包括如下几步：

步骤1.点击绘制草图按钮。

步骤2.调节弹出窗口的大小，准备绘制。

步骤3.点击鼠标右键，弹出绘制菜单，并选择要绘制的图形。

步骤4.绘制图形

步骤5.可选步骤，进入上述菜单，选择修改图形或清除画板，重新绘制。

步骤6.按下保存按钮，保存所绘制的草图。



图4-7 简易草图画板的框架

## 本章小结

本章主要介绍了检索系统中用到简易草图画板的设计，在该草图绘制板中加入了部分基础画图的功能，包括了直线，矩形，三角形，圆形，曲线，铅笔线，对于Bresenham算法和三次贝塞尔去曲线算法进行了推导。同时对这两个算法进行了应用，比如使用Bresenham算法来绘制直线类的图形如矩形和三角形，也对贝塞尔曲线算法进行了应用如使用多段贝塞尔曲线来绘制出一个圆形。

# 草图及三维模型的特征提取

在基于手绘草图的三维模型检索问题中，要将所有源模型与目标模型进行相似性计算，才能找出与目标模型最相似的源模型。随着三维模型的数量越来越多，这样的做法显然是非常低效的。在实践过程中，我们发现直接将草图与三维模型或者三维模型的二维视图集合进行比较是没有意义的。所以需要一种能够表达二维视图和草图特征的描述符。为了能够解决二维视图和草图之间存在旋转和尺度大小的不同，本文需要的特征描述符应当具有平移、尺度和旋转不变等特性。在计算机图形学领域应用过大量的描述符，包括 HOG、SIFT、Zernike 和形状上下文等描述符。本章着重介绍 Zernike 描述符、Fourier 描述符、二维形状分布以及集成描述符，本章的集成描述符能够解决单一描述符提取特征不全的问题。

## 全局试图特征描述符

全局特征是指图像的整体属性，常见的全局特征包括颜色特征、纹理特征和形状特征，比如强度直方图等。由于是像素级的低层可视特征，因此，全局特征具有良好的不变性、计算简单、表示直观等特点，但特征维数高、计算量大是其致命弱点。此外，全局特征描述不适用于图像混叠和有遮挡的情况。

本文提出的全局视图特征包含 Zernike 矩和Fourier描述符。首先，本文提取二维视图的 Zernike 矩，并采用标准矩的方法归一化到(0, 1)范围。然后，取得二维视图的轮廓视图，提取它的一维傅立叶算子，除以直流分量标准化到(0, 1) 范围。基于草图的三维模型检索不应该受到草图绘制位置、尺度大小以及旋转角度的影响。

### Zernike矩

图像的矩通常描述了改图像的全局特征，并提供了大量的关于该图像不同类型的几何特征信息，比如大小，位置，方向以及形状。

在基于手绘草图的三维模型检索汇总，一个核心问题就是图像的特征提取，简单描述即为用一组较为简单的数据来描述整个图像，这组数据越简单并且越具有代表性越好。一个良好的特征矩不守光线，噪点，几何形变的干扰。

Zernike矩是一个正交矩，是基于Zernike多项式正交化的函数。Zernike矩具有以下几个特点：完备性，正交性，旋转不变形。Zernike矩是一个复数矩，一般把Zernike矩的模作为特征来描述物体的形状。一个目标对象的特征矩可以用一组很小的Zernike矩特征向量来表示。低阶矩阵、特征向量描述的是一幅图像的目标的整体形状，高阶矩特征向量描述的是图像目标的细节信息。

一组定义在单位圆上的复值函数集具有完备性和正交性，使得它可以表示定义在单位圆内的任何平方可积函数，定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑1 ) |

其中，表示圆点到(x,y)的矢量长度，表示矢量与X轴逆时针方向的夹角。是实值径向多项式：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑2 ) |

称其为为Zernike多项式。

Zernike多项式满足正交性：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑3 ) |

其中，的共轭多项式。并且由于Zernike多项式具有正交完备性，所以在单位圆内的任何图像f(x,y)可以用唯一的式子来展开：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑4 ) |

式子中就是Zernike矩:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑5 ) |

针对Zernike矩进行平移和尺度变换得到具有平移，尺度和旋转不变性的图像g(x,y)。g(x,y)的Zernike矩定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑6 ) |

其中，;表示视图轮廓内所有黑色像素点的横坐标的和，表示视图轮廓捏所有黑色像素点的纵坐标相加的和。表示投影视图中所有白色像素点的总和。()表示手绘草图的中心。

由于Zernike矩定义在单位圆内，故映射在单位圆外的像素点不参与计算，这是Zernike矩固有的几何误差。Zernike矩计算时间补觉长，因此需要选择一种快速的算法来减少时间。

**徐旦华【】等**提出了一种Zernike矩的快速算法。利用 Zernike多项式迭代性质，找出了 Zernike正交矩之间的内在关系，这样，高阶的 Zernike矩可由低价的 Zernike矩求出，再在 **Chan【】等**人提出的关于一维几何矩有效算法的基础上，得出了一种快速算法。与已有方法相比，该算法大大减少了求解过程中的乘法次数，降低了计算复杂度，从而提高了运算速度和效率。

### Fourier描述符

傅里叶描述子的作用是用来描述图像的轮廓信息，具有平移、旋转、尺度不变性特征。对于一幅图像，通过傅里叶描述子获得其图像轮廓信息，其本质就是空间、频域变换问题。通过将图像中的像素点进行傅里叶变换，得到得到图像的轮廓信息。

如果对傅立叶描述子进行低通滤波，Fourier描述子的低频分量捕获对象的一般形状特性，高频分量捕获更精细的细节，而且Fourier描述子是不考虑空间位置，因此，傅立叶描述子的作用与矩非常相似：低阶项/矩给出近似的形状，添加额外的项可以细化该形状。

傅里叶形状描述符基本思想是用物体边界的傅里叶变换作为形状描述，利用区域边界的封闭性和周期性，将二维问题转化为一维问题。由边界点导出三种形状表达，分别是曲率函数、质心距离、复坐标函数。

假设一个特定形状的边界有从0到n-1的n个像素。沿轮廓的第k个像素具的位置定义为()。对于曲线上一点，可以用复数表示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | =  = | ( 5‑7 ) |

对S(t)进行傅立叶变换可以得到：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑8 ) |

其中，a(k)为傅里叶描述子，为了使其具有平移，缩放，和旋转不变性需要对其进行归一化

归一化后的模为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑9 ) |

这个描述符具有平移、尺度和旋转不变特性。其中，平移不变性和旋转不 变性是它本身的特性，归一化和绝对值操作保证了尺度不变性。

## D2描述符

二维形状分布是在三维形状分布的基础上变化得来的。三维形状分布的主要思想是利用形状函数来表示三维模型表面上点对的距离关系、模型内部角度 关系和区域面积，构建表达形状特征的统计分布直方图。同理，二维形状分布能够构建出二维视图的统计分布直方图。二维形状主要包括 A3、D1、D2、D3 和 D4 等五种形状函数。

A3:在模型表面随机选取三个点，三点构成的三角形内角的概率分布构成 A3 形状特征。

D1:连接模型表面任意一点，与模型中心位置产生的距离概率分布构成 D1形状特征。

D2:在模型表面选取任意两点相连，两点之间距离的概率分布构成 D2 形状特征。

D3:在模型表面选取任意三点，三点构成的三角形面积的平方根的概率分布构成D3 形状特征。

D4:在模型表面选取任意四点，四点构成的立方体体积的概率分布构成 D4 形状特征。不同的形状分布描述符如图5-1所示。

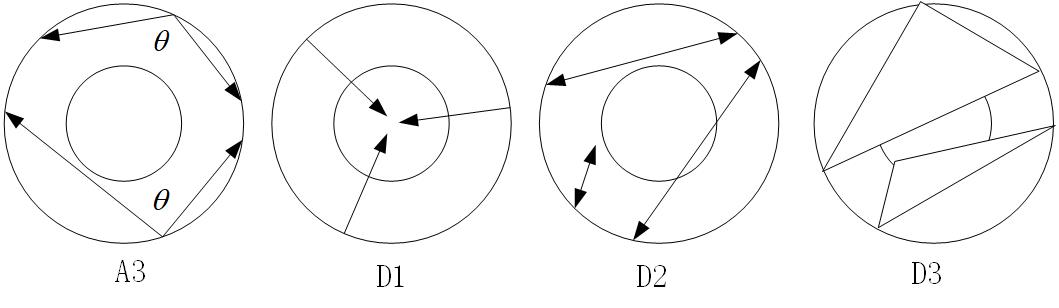


图5-1 不同的形状分布描述符

本文采用效果较好的 D2 形状描述符来描述二维视图的形状区域特征。本文在三维模型的每个二维视图和输入草图上采用随机采样。采用的样本点不是全部在外部的边界上，每个采样点 可以位于给定视图的任意边缘线上。二维形状分布特征提取的算法描述如下:

1.在绘制草图过程中，记录草图绘制的所有像素点，把这些像素点放入集合中，N是所有像素点的总数。对像素点进行随机采样，本文选取采样个数为1024.

2.针对1024个随机采样点，可以知道二维形状描述符产生所有点对的公式，具体公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑10 ) |

3.计算所有点对之间的欧几里得距离。

4. 统计随机点对之间的距离，构建二维形状分布直方图。统计分布直方图的 横坐标范围应该从 0 到点对之间的最远距离。在计算两个直方图之间的相似度时，应该保证直方图区间数目是相同的。对于区间较少的直方图，应该采用归零的方法去填充区间。

## 集成描述符

经过大量的实验表明傅里叶描述符中较小的值适用于表示全局视图特征。 Zernike 描述符中较大的值适用于表示全局视图特征。本文的傅里叶描述符与 Zernike 描述符均选取经验值**[46]。**其中，傅里叶描述符选取前 10 个较小的值; Zernike 矩描述符使用前 35 阶较大矩。对于一幅草图和三维模型的二维视图，本文使用向量的 L1 范式去度量Fourier描述符、Zernike 描述符和D2描述符之间的距离，公式为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑11 ) |

其中，F(p)、Z(q)分别表示草图和二维视图的傅里叶变换特征和 Zernike 矩特征。 、 分别表示草图和二维视图的二维分布特征。 、 和 分别为使用Fourier描述符、Zernike矩描述符和D2形状描述符的二维草图与投影视图之间的相似性结果。其中，Fourier描述符和 Zernike 矩描述符构成本算法的全局视图特征描述符，公式为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑12 ) |

为了解决单一描述符对二维视图特征提取不全面的问题，本文在全局视图描述符和二维形状分布的基础上进行一定权重的集成，得到一个能更好地表示二维视图特征的描述符。集成描述符D定义为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 5‑13 ) |

为全局视图描述符的权重，它与二维形状分布的权重相加为1。草图与二维视图相似度越高，D越小。不同用户绘画风格不同，绘画出的草图可能差异很大，集成描述子特征也会不一致，因此本文有如下方法避免检索结果的不准确。首先本文提出的集成 描述子具有平移、尺度和旋转不变等特性，避免了旋转、大小等对检索结果的 影响，因此，只有绘画风格存在对草图的影响，而绘画风格存在两方面问题。1)绘制者对模型观察角度的不同，影响集成描述子的特征，因此本文采用多投影的方式，尽可能多的考虑不同用户观察角度的差异。2)本文草图检索对绘制有一定要求，绘制越精准检索效率越高，需要检索的准确率越高。

伊明【】对不同的值进行实验。在[0-1]之间以每次0.1的速率进行增长。在不同值时，记录三维模型在查全率(查全率是:在检索时，检索到的所有模型占据全部模型的比例)为 0.1 时的查准率(查准率是:在检索时，检索到所求模型占据该类模型总数的比例)。在[0.3-0.6]范围时，集成描述子的检索性能较好;为0.4时，检索效果最佳。在后续验证本文提出算法与其它算法的优劣中，取值为 0.4。不同的检索结果如图5-2所示。

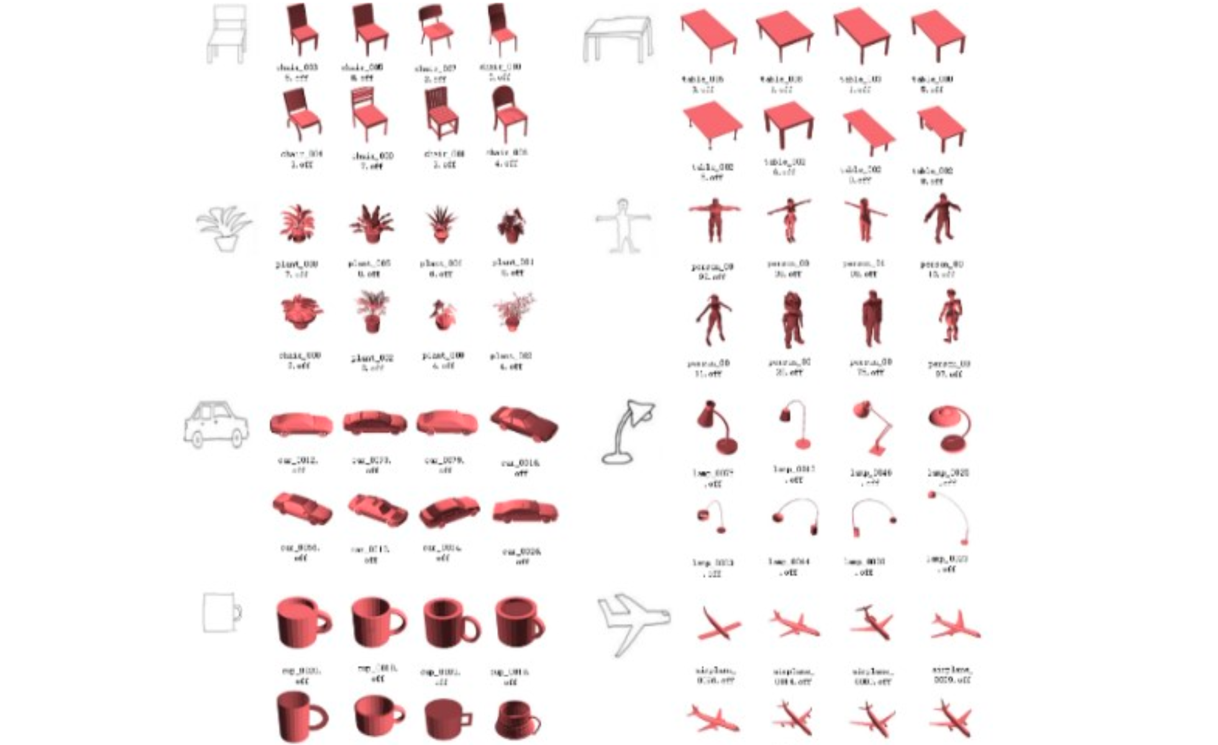


图5-2 不同的检索结果

## 本章小结

本章主要介绍了集成描述子，并详细分析了集成描述子的特征构造，它是由 Zernike 矩和Fourier描述符组合的全局视图特征与D2形状特征按照一定比例加权得到的。集成描述子作为特征提取的描述符，能够解决单一描述符对二维草图信息描述不全的问题。

# 基于手绘草图的三维模型检索

相似性度量，即综合评定两个事物之间相近程度的一种度量。两个事物越接近，它们的相似性度量也就越大，而两个事物越疏远，它们的相似性度量也就越小。相似度通常表示为数值：当数据样本更相似时，相似度量越高。它通常通过转换表示为0和1之间的数字：0表示相似性低（数据对象不同）。1表示高度相似（数据对象非常相似）。相似性度量的给法种类繁多，一般根据实际问题进行选用。常用的相似性度是有：相关系数，角度相似性。本文中使用距离来度量样本之间的相似程度。

## 相似性计算

距离度量是数学上的一个基本改脸，对于任意一个定义在两个矢量X和Y上的函数d(X,Y)只要满足如下4个性质就可以称作是一个距离度量。

1)非负性: d(X,Y) >= 0；

2)对称性: d(X,Y) = d(Y,X)；

3)自反性: d(X,Y) = 0，当且仅当 X= Y；

4)三角不等式: d(X,Y) + d(Y,Z) >= d(X,Z)。

常见的几种距离度量如图6-1所示。



图6-1 常见的距离度量

### 欧几里得距离

欧几里得距离也被称为欧式距离，它是一种最常见的距离度量方式:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑1 ) |

欧几里得距离的直观理解是特征空间中X和Y两个点之间的直线距离，距离度量与矢量度量的长度是密切相关的。欧几里得距离也可以看作是差矢量X-Y的长度。矢量的长度在数学上也被称为范数，欧几里得距离对应的是矢量范数，也可表示为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑2 ) |

### 曼哈顿距离

曼哈顿距离又称为街区距离，也就是在欧几里德空间的固定直角坐标系上两点所形成的线段对轴产生的投影的距离总和。定义点A到点B的曼哈顿距离就是两点坐标之差绝对值的和。曼哈顿军力对应矢量的范数，可以表示为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑3 ) |

### 切比雪夫距离

两个N-D观测值或向量之间的切比雪夫距离等于数据样本坐标变化的最大绝对值。在二维世界中，数据点之间的切比雪夫距离可以确定为它们的二维坐标的绝对差之和。因此，切比雪夫距离定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑4 ) |

举例而言，在国际象棋中国王和王后所走过的两点之间最少的格数便可以用切比雪夫距离来度量，数学上切比雪夫距离对应于矢量的范数：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑5 ) |

### 闵可夫斯基距离

闵可夫斯基距离是之前距离度量的一个推广：欧几里德距离、曼哈顿距离和切比雪夫距离。它定义为N-D空间中两个观测值之间的距离，公式为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑6 ) |

闵可夫斯基距离对应于矢量的范数，不同的p可以得到不同的距离度量，很明显，欧几里得距离和曼哈顿距离都是闵可夫斯基距离的特例，分别对应于p=1和p=2的特殊情形，实际上，切比雪夫距离也是闵可夫斯基距离的一种特例，对应于p趋向于正无穷大。

在欧几里得距离度量下于坐标原点距离为1的点的轨迹是一个单位圆如图6-2所示，在曼哈顿距离度量下则变成了单位圆的内接正方形，随着闵可夫斯基距离中p的不断增大，单位圆不断向外扩张，直到p趋近于正无穷的时候，演变为外接正方形。



图6-2 不同距离度量下的单位圆

### 马氏距离

上述的几种距离虽然较为简单，但也有明显的缺点，将样品的不同属性（即各指标或各变量）之间的差别等同看待，这一点有时不能满足实际要求。马氏距离表示数据的协方差距离。它是一种有效的计算两个未知样本集的相似度的方法。与欧几里得距离不同的是它考虑到各种特性之间的联系并且是尺度无关的，即独立于测量尺度。马氏距离也可以定义为两个服从同一分布并且其协方差矩阵为Σ的随机变量之间的差异程度。如果协方差矩阵为单位矩阵，那么马氏距离就简化为欧氏距离，如果协方差矩阵为对角阵，则其也可称为正规化的欧氏距离。

对于一个均值为，协方差矩阵为Σ的多变量矢量x，其马氏距离为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ( 6‑7 ) |

## 基于手绘草图的三维模型检索结果

在分析了上述的距离计算方法后，本文采用了最为简单的欧几里得距离公式来计算草图和二维视图集的相似性。基于该相似性算法，设计了基于手绘草图的三维模型检索。

本文的三维模型的检索系统采用OpenGL和OpenCV为几何造型平台，采用MFC为UI界面，使用C++语言编写。实现了一个检索程序系统，主要的功能有：导入和绘制草图，绘制草图的功能的具体实现参照第4章的简易草图画板的实现；可以选择不同的数据库；显示出绘制的草图；图形检索功能；显示8张最优的结果图，以及一张全局最优结果。该检索器的框架界面如图6-3所示。



图6-3 检索器的框架界面

用户步骤包括如下几步:

步骤 1.用户选择绘制在线绘制草图，或者导入已经绘制好的草图的图片。如果按下绘制草图，会弹出一个简易草图绘制画板供用户绘制草图，具体功能参照第4章。

步骤 2.在程序的左侧会显示出用户导入或者绘制好的草图。

步骤 3.选择检索三维模型库路径，默认有一个较小的数据库，用户可以通过简易渲染器的程序来获得不同数量级的模型数据库。简易渲染器的具体功能参照第3章。

步骤 4.点击检索，进行草图检索。

步骤 5.输出结果，返回8张结果图。

步骤 6.输出结果，返回1张最接近的结果图。以一个显示器为例子，进行基于手绘草图的检索，检索的结果如图6-4所示。



图6-4 草图检索结果

## 本章小结

本章主要介绍了基于不同距离公式的相似性度量，推到了不同距离公式的计算方法和范数。本文利用欧式距离计算二维视图与草图之间的相似性，对手绘草图的检索结果进行从小到大的排序显示。本章还着重介绍了基于手绘草图的三维模型检索系统的应用。针对草图的检索过程的第一步为绘制草图，为了降低了对用户的要求，提供了在线绘制或者线下绘制的功能，只需要简单的草图即可完成检索，实验结果也表明本文的方法可以有效地检索相关的三维模型。

结论

随着三维模型在日常生活中的应用越来越普及，快速查找三维模型检索算 法逐渐成为国内外研究热点之一。本文描述了三维模型检索技术在国内外的研究现状，对三维模型检索技术的发展和主要方法作了概述。本文主要研究了基 于视图的三维模型检索，包括基于草图的检索算法、基于二维视图的检索算法 和基于多视角点云的检索算法。依托于本文的检索系统验证算法的优劣，并且 按照检索算法的顺序能够降低用户的使用难度，提高检索准确率。

本文在基于草图检索的过程中，首先利用草图降噪的方式去除手绘草图的 噪声，改善草图质量，提高识别准确率。提出了一种新的利用轮廓曲线的固定 投影方式，避免数据冗余。提出了一种新的描述子，即集成描述子，该描述子 有效地利用了视图的区域特征和边界轮廓特征，最后利用距离公式完成检索。 实验验证本文方法比其它草图检索算法效果更好。基于草图的检索算法相对于 基于内容的算法性能较差，但优势在于便于普通用户检索，不需要拥有三维模 型即可检索。因此，本文系统先通过草图检索算法检索出需要的众多模型，在 这些模型中选择三维模型进行第二次的精确检索。

本文在基于二维视图的检索过程中，提出一种固定投影加上 Apriori 算法的 视图集甄选方法。该方法降低二维视图与三维模型的语义鸿沟，并且能够甄选 出三维模型中最明显的特征。运用调参后的 AlexNet 模型对视图集进行训练， 进行先分类后检索，能够数十倍的提高检索效率，并且分类准确率远远超过传 统方法。本文将该方法作为用户检索的第二次检索，通过草图检索出的模型用 作基于二维视图的检索输入，能够避免普通用户直接进行检索时没有适当模型 的情况。

本文在三维模型检索算法中还提出了一种基于多视角点云投影的方法，对 于三维点云模型进行一定厚度的切片并投影。针对投影点云视图进行像素扩散， 再利用 AlexNet 模型对视图集进行训练，该方法的分类准确率略低于基于二维 视图的检索方法。但相对于传统方法效果较优，并且由于点云模型相对于三维 模型 OFF 文件较小，特征较少，因此检索时能够节省一定的时间，速率较快。

本文利用 Opencv、Opengl 和 PCL 开发了一个三维模型检索系统。该系统 集成了本文提出的所有算法，利用 ModelNet-40 完成一系列的实验，验证了本 文提出算法的优良性能和检索系统的人性化开发。

致谢

参考文献

1. 戈宝军，梁艳萍，温嘉斌．电机学[M]．第二版．北京：中国电力出版社，2013：1-3．
2. 主要责任者．题名：其他题名信息[文献类型标志]．其他责任者．版本项．出版地：出版者，出版年：引文页码
3. 余敏．出版集团研究[M]．北京：中国书籍出版社，2001：179-193．
4. 昂温G，昂温P S．外国出版史[M]．陈生铮，译．北京：中国书籍出版社，1988：89-102．
5. 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会．GB/T 5795-1986 中国标准书号[S]．北京：中国标准出版社，1986．
6. 作者.文章名.学术刊物名，年，卷（期）：引用部分起止页
7. 李晓东，张庆红，叶瑾琳．气候学研究的若干理论问题[J]．北京大学学报：自然科学版，1999，35（1）：101-106．
8. 叶志军，游佰强，J. Rosendahl，等．基于Flux 2D 的大型同步发电机在额定运行下定子绕组匝间短路故障特性研究[J]．中国电机工程学报，2013，33(3)：125-132．
9. LCASO A N，MARQUES CARDOSO A J．Remedial Operating Strategies for A 12-Pulse LCI Drive System [J]．IEEE Transactions on Industrial Electronics，2008，55(5)：2133-2139．
10. DE ARAUJO RIBEIRO R L，JACOBINA C B，DA SILVA E R C，et al．Fault Detection of Open-Switch Damage in Voltage-Fed PWM Motor Drive Systems [J]．IEEE Transactions on Power Electronics，2003，18(2)：587-593．
11. GAMEIRO N S，CARDOSO A J M．A New Method for Power Converter Fault Diagnosis in SRM Drives [J]．IEEE Transactions on Industry Applications，2012，48(2): 653-662．
12. 作者.文章名.编者名.会议名称，会议地址，年份：引用部分起止页
13. ALCASO A N，CARDOSO A J M．Power Supply Harmonic Filter Behavior in A Twelve-Pulse LCI Drive System Under Power Converter Faults[C]．Proceedings of the Power Electronics Specialists Conference， PESC '05 IEEE 36th，Recife，16-16 June，2005：2893-2897．
14. 研究生名.学位论文题目.学校及学位论文级别，答辩年份：引用部分起止页
15. 赵相宾．基于静止变频调速系统的抽水蓄能机组起动研究[D]．天津：天津大学，2007：13-27．
16. 张侃．同步电动机软起动装置的研究[D]．哈尔滨：哈尔滨工业大学，2008：8-21．
17. 张志祥．间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D]．北京：北京大学数学学院，1998：3-15.
18. CALM S R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California. 1965：1-5.
19. 刘加林．多功能一次性压舌板：中国，92214985．2[P]．1993-04-14．
20. 河北绿洲生态环境科技有限公司．一种荒漠化地区生态植被综合培育种植方法：中国，01129210.5[P/OL]. 2001-10-24[2002-05- 28]. http:/ /211.152.9.47/sipoasp/zlijs/hyjs-yx-new.asp? recid=01129210. 5&leixin.

附录A

#include “stdio.h”

main()

{

for (;;)

printf(“成功到永远！”);

}

附录B

附录C