

8-7-2020

Research of Light Weight 3D Models Repository and Key Technologies

Zhou Wen

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Jinyuan Jia

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Laixiang Wen

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Zhao Long

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research of Light Weight 3D Models Repository and Key Technologies

Abstract

Abstract: With the development of computer graphics, the demand of the 3D model based on the Internet is growing; the related 3D models repository platform and service have emerged. The prototype system of 3D lightweight models repository, at the same time, it introduced the related cloud platform architecture and the framework of system platform was proposed and realized, moreover, the realized process of the system and some related key technologies were introduced, including *lightweight JSON conversion algorithm, dynamic transaction management mechanism, adapter-based dynamic model loading mechanism, lightweight progressive meshes algorithm, sketch-based retrieval Using Content-Aware Hashing*. It is showed that the system can meet the design requirements.

Keywords

cloud computer, 3D lightweight models repository, lightweight progressive meshes, sketch-based retrieval

Recommended Citation

Zhou Wen, Jia Jinyuan, Wen Laixiang, Zhao Long. Research of Light Weight 3D Models Repository and Key Technologies[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2514-2524.

轻量级三维模型素材库及其关键技术的研究

周文, 贾金原, 温来祥, 赵龙

(同济大学 软件学院, 上海 201804)

摘要: 随着计算机图形学的发展, 基于互联网的 3D 模型的需求也日益增长, 相关的 D 模型库平台及服务应运而生。提出了基于云平台的轻量级三维模型素材库原型系统以及其中相关的云平台构架和系统的总体构架, 介绍了系统的实现过程和其中的关键技术和算法, 包括轻量级 JSON (JavaScript Object Notation) 转换算法、动态事务管理机制、基于 adapter 的动态模型加载机制、轻量级渐进式网格方法、基于内容感知的 hash 方法的草图搜索等算法。通过实验表明系统达到设计的要求。

关键词: 云计算; 轻量级三维模型素材库; 轻量级渐进式网格; 草图搜索

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 10-2514-11

Research of Light Weight 3D Models Repository and Key Technologies

Zhou Wen, Jia Jinyuan, Wen Laixiang, Zhao Long

(School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: With the development of computer graphics, the demand of the 3D model based on the Internet is growing; the related 3D models repository platform and service have emerged. The prototype system of 3D lightweight models repository, at the same time, it introduced the related cloud platform architecture and the framework of system platform was proposed and realized, moreover, the realized process of the system and some related key technologies were introduced, including *lightweight JSON conversion algorithm, dynamic transaction management mechanism, adapter-based dynamic model loading mechanism, lightweight progressive meshes algorithm, sketch-based retrieval Using Content-Aware Hashing*. It is showed that the system can meet the design requirements.

Keywords: cloud computer; 3D lightweight models repository; lightweight progressive meshes; sketch-based retrieval

引言

随着计算机图形学的发展, 对于三维图像的应用越来越广泛, 如 3D 打印、3D 建模、二维图像三维重建等, 人们对于三维图像的需求越来越多, 但是基于三维模型的互联网服务很有限。

国外在这个方面起步较早, 出现了很多模型

库, 这些模型的模型主要是通过网络爬虫对网络上的模型进行汇总、删除重复的模型和损坏的模型, 而建立起来的大规模的模型库。这其中有偏向学术研究方面的模型库, 如 The Princeton Shape 等。与此同时, 一些计算机商业巨头公司也开发了自己的模型库, 如 Google 3D Warehouse。

国内在这个方面也是刚起步, 近年来出现几家商业网站, 提供模型服务。但是与此同时, 与基于 3D max 等三维应用程序显示不同, 基于页面的模型显示, 大型的精细的模型页面显示必然要耗费大量的时间。如果用户浏览一个模型需要等待大量的



收稿日期: 2015-06-13 修回日期: 2015-07-22;
作者简介: 周文(1984-), 男, 安徽, 博士生, 研究方向为图像处理, 草图搜索等; 贾金原(1963-), 男, 山东, 博导, 教授, 研究方向为虚拟现实、几何造型等; 温来祥(1985-), 男, 山东, 博士生, 研究方向为轻量化建模、虚拟现实等。

<http://www.china-simulation.com>

• 2514 •

时间, 必然会影响用户体验。目前国内比较成熟的提供 3D 模型库服务的网站主要包括捞 3D, 3DCity, 云台网, 3D 溜溜网等。

3DLMR 采用云计算环境下的 NoSQL 和关系数据库相结合的技术。计算机体系结构在数据存储方面要求具备庞大的水平扩展性, 而 NoSQL 致力于改变这一现状。

1 相关研究

1.1 模型库

美国普林斯顿大学很早就进行模型库的研究, 其中普林斯顿 shape Benchmark^[1]是世界上最著名的三维模型库, 它是由 6670 个 off 格式的三维模型库, 此外还提供了很多软件工具, 用于做 shape 分析, 是学术研究中进行三维分析方法统一的参照, 它采用了一般的文件系统存放模型数据, 提供基于关键字的搜索和 2D 草图搜索、3D 草图搜索的原型系统的服务。但是该模型库偏向于学术研究和三维分析。

我国台湾的国立台湾大学较早进行模型库的研究, 其中他们通讯与多媒体实验室所研制的模型库较为有名, 他提供草图搜索的原型系统, 其中模型库中含有 10911 个三维模型, 包括多种模型格式, 如 OBJ, 3Dmax 等。所有的模型可以从互联网免费下载。

德国莱比锡大学计算机图形图像处理实验室所研制的 CCCC(content-based classification of 3D models by Capturing Spacial Characteristics)。该系统是基于 VRML 建立的模型库, 不过该系统仅提供基于关键字的搜索机制, 但该系统对三维模型预处理做的很好。

英国的 College London 大学的 3D Repo 是一种面向版本控制的新一代模型库, 采用了 X3dom 技术, 文献[2,3]中, 提出了 BIM(Building Information modelling)模型库 3D Repo 的设计思路, 他们采用了 Mongo DB 作为模型存取媒介, 支持在线建模和

模型版本控制操作。并指出了模型存储结构中 NoSQL 与一般文件系统的优缺点, 文件系统不足具体表现在以下方面: 1、访问控制能力差; 2、版本控制能力差; 3、在线建模操作很难实现。但是与数据库管理系统相比, 模型检索和模型访问速度具有一定的优势。文献[4]中提出, 软件工程设计阶段, 基于模型驱动的开发模式越来越受到推崇, 故数据模型是开发三维模型库系统的关键。

其他一些模型库一般都是针对具体的模型, 对于轻量级模型的专门的模型库很少涉及到。轻量化模型在三维模型实际应用中有广泛的需求, 一些不需要模型细节的场景下, 可以使用轻量级的模型, 以提高模型的加载速度, 尤其对于基于互联网的三维场景中, 有限的内存资源、带宽资源, 在一些场景下轻量化的模型对于系统的效率具有举足轻重的作用。

同时也很少涉及到基于草图的搜索机制, 3DLMR 主要是面向轻量化模型的 3D 模型库, 并对轻量化、3D 模型搜索是作为关键技术进行重点研究。

1.2 网格简化和轻量级渐进式网格

网格简化可以被归类为 3 种方法, 即顶点聚类算法, 再采样算法, 增量式消除算法。

Kettner^[5]等人提出了基于半边数据结构的网格模型的网格简化算法。Garland^[6]等人提出了基于二次曲面的增量式消除算法。Rossignac^[7]等人提出了网格顶点聚类算法, 把三维空间划分为小的立方体, 每个立方体叫做 clusters。这种方法往往具有很多的效率和鲁棒性, 但是产生的网格质量不高。Hoppe^[8]等人提出的再采样算法是通过最大程度覆盖原来的网格的样本点, 然后连接起来这些样本点, 构造出新的网格。这种方法最大的优点是能够满足一些特效的网格结构。Schroeder^[9]人首次提出了增量式消除算法, 基于能量优化函数, 通过先光滑处理后消除的策略。这种方法产生的网格具有很高的质量, 但是计算时间复杂度很高。Hoppe^[10]等

人提出了改进型增量式消除算法,即产生渐进式网格(progressive meshes PM)的方法。但是这种方法很难区分具有很高曲率(如 2D-manifold)的曲面模型 Morigi^[11]等人提出了新的改进方法,在 p-Laplacian 正则化运算下,基于网格表面演化的简化机制。Wen^[12]等人提出了轻量级渐进式网格(lightweight progressive meshes LPM),通过对于网格部分构件可重用的机制,减少网格简化的程度,大大提高了网格简化的时间。

1.3 草图搜索

三维模型检索是近年来计算机图形学、信息检索和模式识别等领域的热点研究问题。伴随着三维模型数据的规模和多样性的日益急速增长,如何对这些三维模型数据进行识别、搜索、重用以及再创作,成为设计师、工程师和研究者们共同关心的课题。

当前比较完备的基于草图的三维模型检索系统有^[13-15]等。基于草图的三维模型搜索中,有两个关键点:三维模型的二维转换和草图特征的提取。这两步使用的方法的质量直接决定了搜索结果的准确性。

Funkhouser^[16]等人提出了一种三维模型搜索引擎,支持 3D 到 2D 的切换,使用了 3D spherical harmonic 方法。Eitz 等人^[13,17-19]使用了 Bag-of-words 和 HOG 等算子实现了基于 2D/3D 的对象检索算法。但是这些方法都没有对于草图进行过预处理, Li 等人^[20]提出在草图检索过程中,在草图匹配前,对于草图的内容进行预先识别过程,这样可以大大提高草图搜索的效率和准确性。

草图搜索发展到今天,很多研究人员不断努力,到目前为止已经发展了 8 个 benchmark,分别是 Snogross and Vanderwart^[21] standard line drawings(1980), Cole *et al*^[22]'s line drawing benchmark (2008), Saavedra and Bustos^[23]'s sketch dataset (2010), Yoon *et al*^[24]'s sketch-based 3D model retrieval benchmark (2010), Eitz *et al*^[13]'s

sketch-based shape retrieval benchmark, Eitz *et al*^[17]'s sketch recognition benchmark(2012), Small-scale benchmark^[25]: SHREC'12 Sketch Track Benchmark(2012), large-scale^[25]: SHREC'13 Sketch Track Benchmark(2013)。这些 benchmark 的研究在草图搜索的研究和应用中发挥了重要的作用。

Liang 等人^[26]提出了基于内容感知的 hash 算法的草图搜索算法,由于草图的特征很少,一般对于草图特征仅仅能够提取到轮廓特征,通过对于草图进行栅格化处理,提取出单位 window 的像素,然后利用 hash 表进行二进制编码,该二进制编码即为新的特征值。

2 云平台架构

2.1 NoSQL 数据库

NoSQL 又称 Not Only SQL,主要是指非关系型、分布式、支持水平扩展的数据库设计模式。主要 NoSQL,包括 MongoDB、Hbase、Google Big Table 等。NoSQL 放弃了传统关系型数据库严格的事务一致性和范式约束,采用弱一致性模型。相对于 NoSQL 系统,传统的数据库难以满足云计算环境下应用数据的存储需求。文献[27~29]中,指出了传统数据库不能满足云服务的需求,具体表现在以下几个方面:

1、根据数据库理论,一致性、可用性、容错三个要素最多同时满足两个,不可能兼顾。而对于云平台部署了大量的应用而言,数据的可用性和容错的优先级通常会要求更高,所以一般会选择降低或者放松对于一致性约束。但是传统的关系型数据库的事务一致性需求制约了其伸缩性和高可用性的实现。

2、NoSQL 提供了延迟读写速度,支持水平扩展,这些特性对于拥有海量访问请求的云平台而言是至关重要的。传统关系型数据库无法提供同样的性能,而是内存数据容量有限且不具备扩展能力。

3、传统的关系型数据库难以适应新的数据库存储访问模式。访问 WEB2.0 站点以及云平台中存在大量半结构化数据, 如用户的 Session 数据, 事务性数据等。这些状态数据更适合以 key/value 形式存储, 不需要 RDBMS 提供的复杂查询与管理功能。

2.2 DLMR

3DLMR 系统是基于云平台的新一代多功能的三维模型库, 包括如下功能, 轻量化建模, 基于草图的搜索, CMS 平台, 海量模型存储, 面向移动互联网的 VR 平台等, 如图 1~2。

3 3DLMR 的框架

3.1 模型库的框架及其关键技术

本文我们提出了基于 NoSQL 和关系型数据库

MySQL 相结合的数据存储机制, 对于结构化数据, 如模型、图片之间的逻辑关系及其他业务逻辑关系。关系型数据库在结构化数据的巨大优势可以显示, 但是对于非结构化的数据, 如模型数据等, 充分利用 NoSQL 在非结构化数据上面的优势, 并通过结合这两方面的特点, 作为 3DLMR 系统的存储媒介。对于不同数据库间传输, 我们利用通用数据格式 JSON, 保证不同数据能够有效的交互。

3.1.1 轻量级数据交换技术 JSON

在客户端与服务端的应用中, 数据交换都以 XML 的格式实现。但随着异步传输技术的发展, JSON(JavaScript Object Notation)作为一种轻量级的数据交换格式, 以及易与理解与生成的特点, 越来越多的被使用。

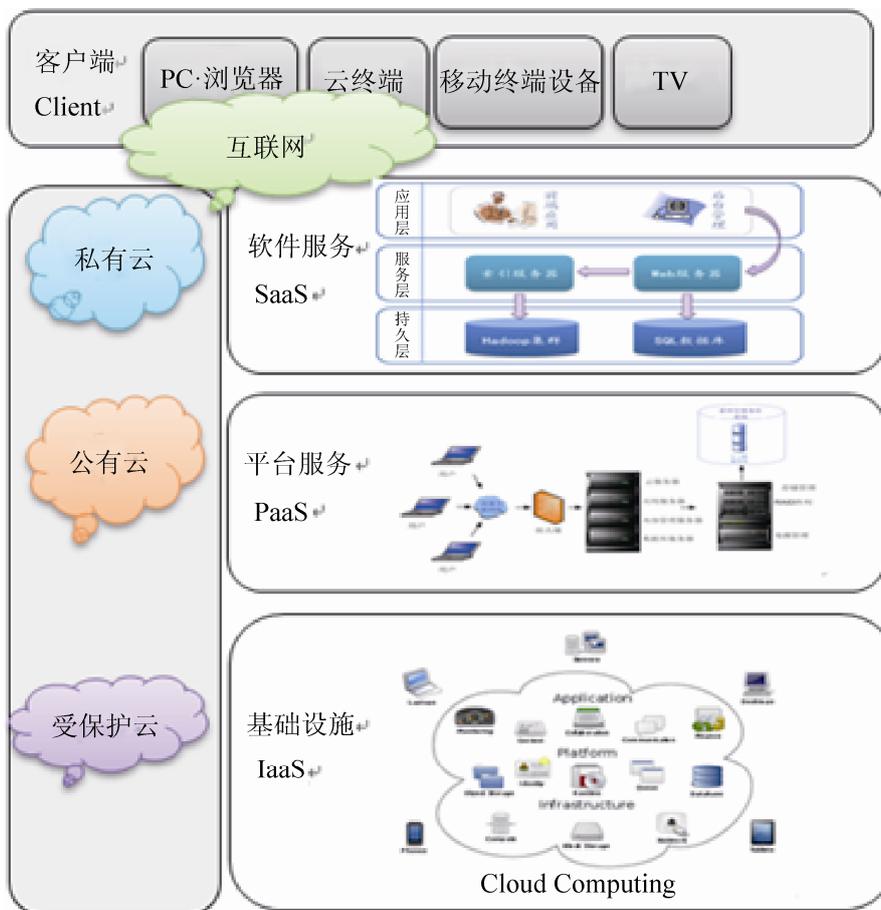


图 1 云平台架构图

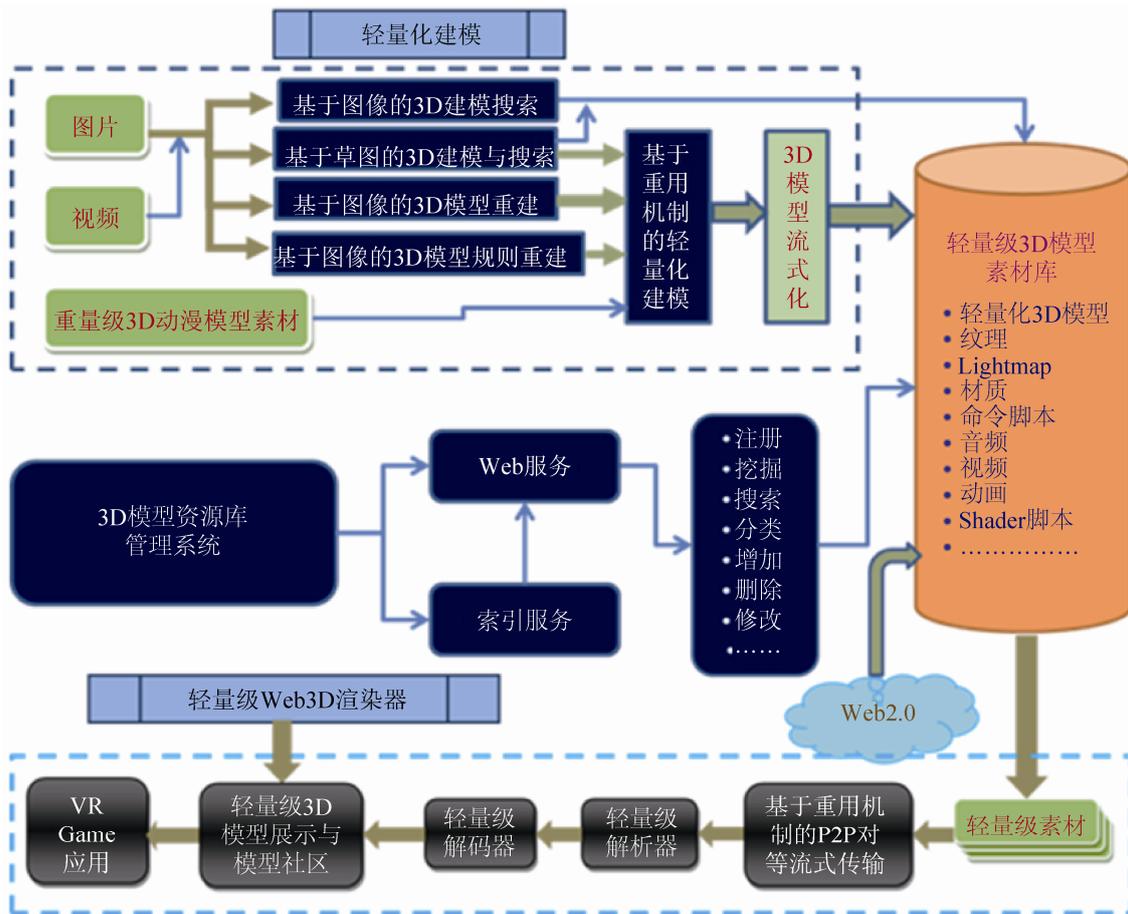


图 2 3DLMR 架构示意图

JSON 采用完全独立于语言的文本格式，其风格类似于 C 语言家族的习惯，JSON 是 JavaScript 规范的一个子集，主流的浏览器对 JSON 都提供了很好的解析，相较于网络间与异构数据之间的 XML 数据交换，服务器与 JavaScript 之间的采用 JSON 格式简单并易于理解，是一种理想的数据交换方式。

作为新一代数据交换格式 JSON，不同数据库之间数据交互必然需要数据之间的转换，JSON 能够有效的对于不同数据库之间的数据进行交互，而且可以在客户端利用 JavaScript 脚本进行读写，可以有效提高数据的交互效率。

本节中我们提出了通用 JSON 格式的转换算法，通过本算法可以有效实现 JSON 文件的转换。具体算法如下：

算法 1：轻量化 JSON 通用数据格式转化

算法

Output: 封装成键值集合 map 输出

Input: 输入 json 格式字符串

//json 数据存入 map 中

Function parseJSON2Map(jsonStr)

JSONArray ← JSONArray.fromObject(jsonStr);

for (Object k : JSONObject.keySet())

Object ← JSONArray.get(k);

if (v instanceof JSONArray) then

Iterator ← JSONArray.iterator();

遍历迭代器，递归本函数，将 json 数组中所有该键的值加入到集合中。

map.put(json 数组的键, json 数组的值); else then;

map.put(json 数组的键, json 数组的值);

end if; End for; return map; End function

Output: 封装成数组集合 list 输出

```

Input: 输入 json 格式的字符串
//JSON 数据存入 List 中
Function parseJSON2List(jsonStr)
JSONArray ← JSONArray.fromObject(jsonStr);
Iterator ← jsonArr.iterator();
while (Iterator.hasNext()) do
JSONObject ← Iterator.next();
    list.add(parseJSON2Map(JSONObject.toString()));
End while
return list;
End function
Output: 一个集合 list 输出
Input: 输入一个 URL 请求地址
//通过 HTTP 获取 JSON 数据, 然后装配到一个集合
中
Function getListByUrl(url)
BufferedReader ←BufferedReader(输出 URL(url)的输入流);
while (读取缓存内的字符不为空) do
StringBuilder.append(读取的每行字符);
end while
return parseJSON2List(json 字符串);
    End function

```

3.1.2 动态事务管理机制

传统的事务管理机制中, 通过对象向 DBMS 发出事务请求 request, DBMS 得到请求后, 满足请求, 对象发出事务的 session, 存入分布式系统或云平台的缓存中, 对象可以通过缓存调用 session 满足相应的业务请求。这种机制主要的不足表现在以下方面: 1、可能导致事务请求混乱, 一个对象可以多次请求事务, 但是无法判断事务是否被关闭, 可能导致死锁现象, 或者 DBMS“休克”; 2、缓存溢出, 大量的非必须的 session 进入缓存, 必然影响系统缓存效率, 导致系统业务无法运行, 甚至导致系统奔溃; 3、事务管理混乱, 没有统一的事务管理机制, 严重影响系统的持久层效率。

基于以上的特点, 本文提出了动态事务管理机制, 见图 3, 通过缓冲池和事务注入技术, 隔离业务对象对于事务管理的介入, 利用对象的反射机制让对象获取缓冲池相应的事务。

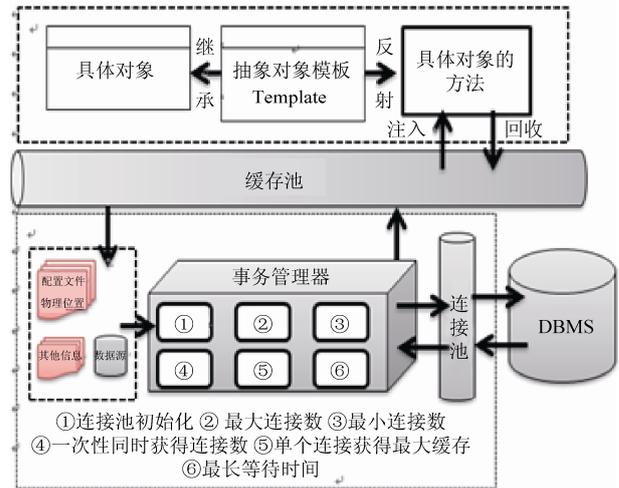


图 3 动态事务管理机制

3.1.3 模型动态加载机制

对于模型显示部分, 定义了一个通用的适配器, 通过适配器可以匹配一些模型格式, 可以实现模型的动态加载机制, 可以让客户端可以动态加载选择匹配模型。如果支持更多的模型格式, 只需要专注于具体模型 WEB 实现的接口程序编写, 其他的流程可以不需要关注。具体见图 4、算法 2。

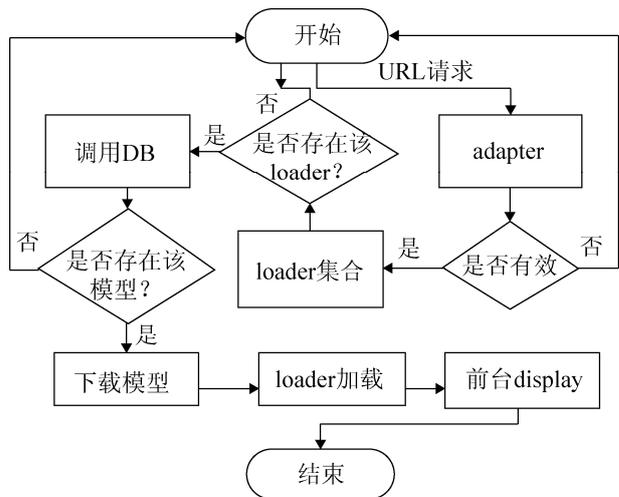


图 4 流程图

算法 2 基于 Adapter 的动态加载机制

Step1: 客户端发出 url 请求, 到达 Adapter, 验证有效性。如果有效转到 step2, 否则转向 step5.

Output: false or true

Input: url request

//防止客户端 sql 注入操作或修改请求连接地址
if request is valid and request 符合约束条件
then

return true;

else return false;

Step2: 将请求转发给 loader 集合, 判断是否集合是否存在可以调用的加载器, 如果没有, 转向 step5, 否则转向 step3.

Output: false or true

input: url request

if loader(request) instanceof loader list then

return true;

else return false;

Step3: adapter 调用业务逻辑, 访问 DB, 判断 DB 中是否存在该模型。如果没有, 转向 step5, 否则转向 step4.

Step4: 模型数据下载成功后, 调用加载器, 根据模型数据的几何、纹理、材质等在客户端展示。

Output: model display page

Input: geometry,texture1,color1

mesh←Loader(geometry,material{color:color1,texture:texture1});

Scene.add(mesh);

canvas←scene;

Step5: 客户端重新发出 url 请求。

3.2 轻量级渐进式网格

轻量级渐进式网格(LPM)处理过程包括姿态的归一化处理、特征提取、匹配、轻量级场景图(LSG)。

1、姿态归一化

对模型进行一些处理, 包括平移不变变化、对称和旋转不变变化、缩放不变变化。

$$m = \frac{1}{E} \sum_{t_i \in M} E_i \frac{(a_i + b_i + c_i)}{3} \quad (1)$$

其中: m 表示平移不变参考点; E 表示相关构件的表面面积; $M=t_1, t_2, \dots, t_n$ 表示一组三角网格, 其中 (a_i, b_i, c_i) 表示网格 t_i 的三维坐标; E_i 表示三角网格 t_i 的面积。

$$F = \text{diag}(\text{sign}(f_x); \text{sign}(f_y); \text{sign}(f_z)) \quad (2)$$

其中: F 表示对称对角矩阵; $f_x = \sum_{v \in V} \text{sign}(v_x) v_x^2$; f_y, f_z 类似于 f_x ; V 是构件的顶点集合。

缩放矩阵

$$S = \frac{1}{\sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}} \quad (3)$$

其中 $s_x = \frac{1}{|V|} \sum_{v \in V} |V_x|$, s_y, s_z 类似于 s_x 。

2、特征提取、匹配、轻量级场景图(LSG)

对模型进行体素化处理, 以便能够得到 3D 模型的外形。然后进行相应的匹配过程。具体过程如下:

Step1: 如果 2 个模块的轴对齐的包围盒(AABBs)相同, 则这 2 个模块是相似的, 转向步骤 2, 否则标注这 2 个模块是不相似的。

Step2: 定义一个函数 VM(i), 如果 VM(i)=1, 当且仅当 Voxels(i, SA) == Voxels(i, SB), SA, SB 表示 A, B 的体素序列。Voxels(i, SA)表示第 i 个状态在 SA 体素序列中。

$$\text{Similarity}(A,B) = \frac{\sum_{i=0}^{N_x \times N_y \times N_z} \text{VM}(i)}{N_x \times N_y \times N_z} \quad (4)$$

如果 Similarity(A,B)>0.95, 则表示 2 个模块是相似的, 否则认为他们是不同的。

3.3 基于内容感知的 hashing 算法

通过在提取草图或三维模型投影轮廓图包含的特征的过程中将其本身的内容分布状况考虑在内, 使得所有的特征尽量均匀地分布到候选窗口内, 且所提取出的特征向量更能表征单个草图其自

身的特点。除了以上提到的候选窗口中包含的局部内容特征, 本算法还使用关键点检测技术将草图的

全局信息提取出来, 并通过哈希索引的方式将两者有机地结合起来, 具体过程见图 5。

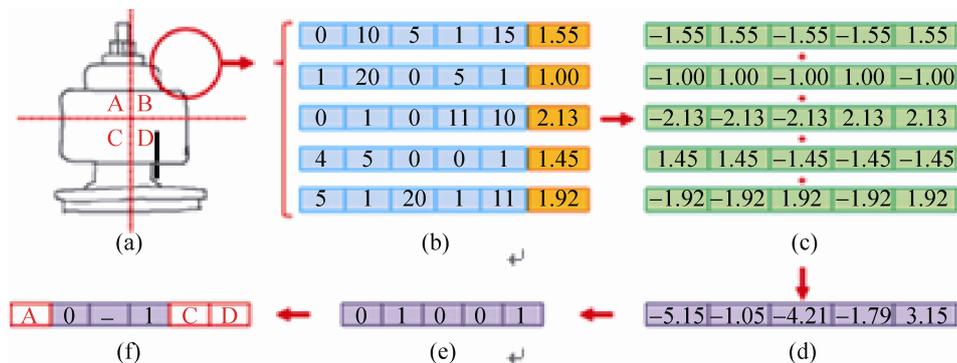


图 5 草图区域特征哈希算法流程图^[26]

算法 3: 特征候选窗口条件约束选取算法

输入: 一幅手绘草图

输出: 特征候选窗口集合 W , 特征候选窗口
特征集合 H

为输入草图初始化 $n \times n$ 的网格

从网格中均匀采样 $m \times m$ 个初始种子

为每个网格中的窗口计算 HOG 特征 h_i

计算全局 HOG 特征 $H = \sum_{i=1}^n h_i$

$W \leftarrow \{\}, H \leftarrow \{\}$

for $y = 1$ to m do

 for $x = 1$ to m do

$w \leftarrow \{\}, h \leftarrow 0$

 for $i = 1$ to $n/4$ do

$w \leftarrow w + \Delta w(x, y, i)$, h

$\leftarrow h + \Delta h(x, y, i)$

 if $F_{app}(h) \geq k_{app} \times F_{app}(H)$ then

 if $F_{var}(h) \leq k_{var} \times F_{var}(H)$ then

 break

 end if

 end if

 end for

$W \leftarrow W + w, H \leftarrow H + h$

 end for

end for

return W and H

索引:

1、为数据库中的所有三维模型产生合适的轮廓图 E

轮廓图 E

2、根据算法 3 为所有 E 产生候选特征窗口 w

3、为每个 w 计算对应的 HOG 特征 f 以及显著性 k

显著性 k

4、根据 E 中的所有 f 和 k 为每个 E 产生一个特征哈希码 h

5、为所有的 h 创建索引 I 。

查询:

1、根据检索过程的步骤 2~4 为输入草图 S 计算出其特征哈希码。

2、从索引 I 中计算出该次查询结果 R 并返回给用户。

4 实验

本章中, 我们将要对实现的 3DLMR 系统进行分析, 我们使用的 PC 机器是 Intel Core i3 CPU, 内存为 4GB, 网络带宽为 4M, 我们使用的软件测试工具是 apache 开源工具 JMeter 2.10 和 badboy 2.2。

我们实现了 3DLMR 的原型系统, 如图 6 所示。实验中, 我们虚拟实现了 10 个线程同时运行 3DLMR 系统, 如图 7 所示。

图 8 是 LPM 算法、PM 算法和原始模型在 web 页面加载时间对比效果。通过对比表明算法具有明

显的优势。

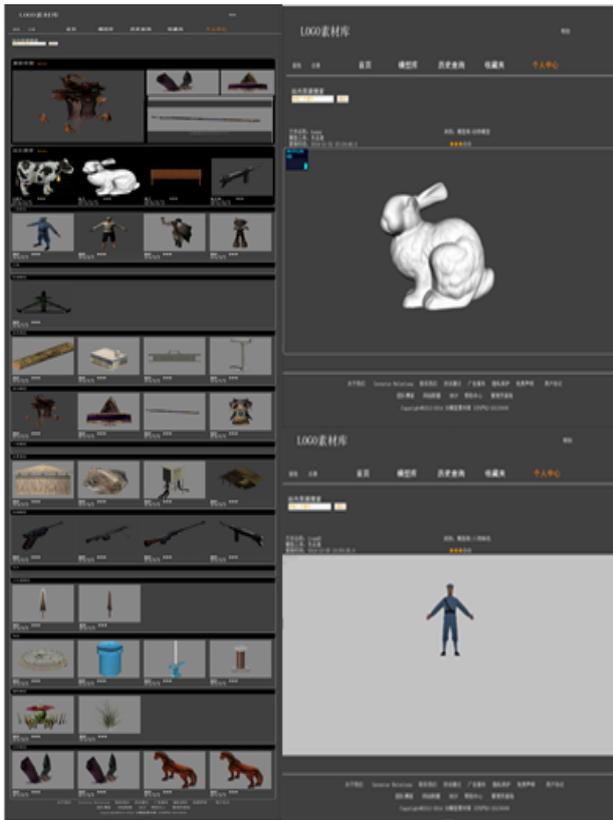
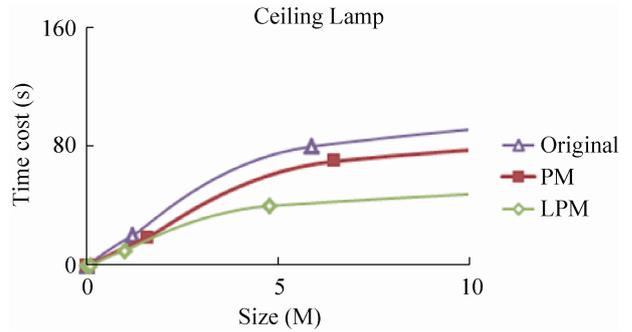
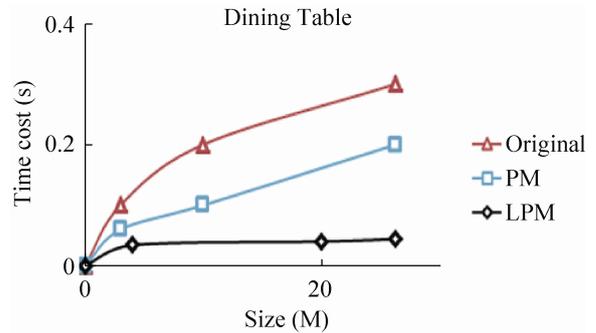


图 6 3DLMR 原型系统(3 个页面)

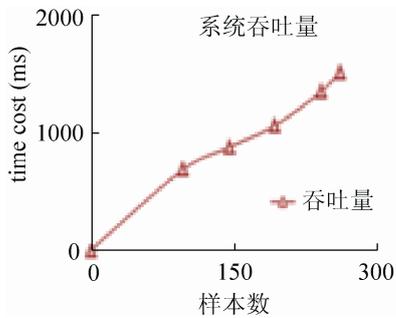


(a) 吊灯在三种方法下加载时间对比图

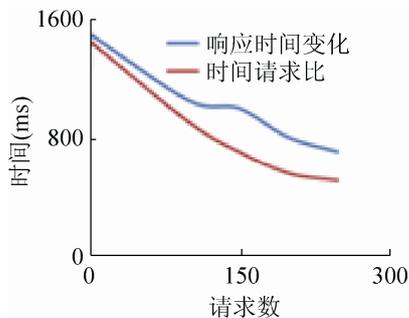


(b) 餐桌在三种方法下加载时间对比图

图 8 LPM 方法在带宽为 4M 的环境下 web 展示对比图



(a) 系统吞吐量-样本数图

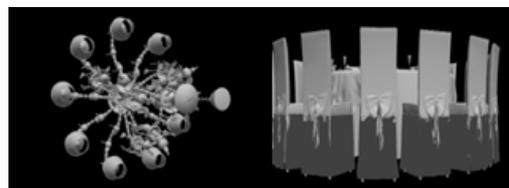


(b) 响应时间变化和时间请求比对比图

图 7 系统性能测试图



(a) 刚刚加载的效果图

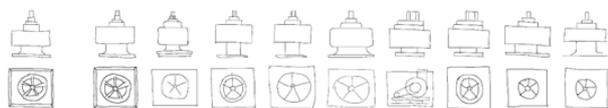


(b) 加载完毕后的效果图

图 9 LPM 方法展示效果图

图 9 是 LPM 方法对吊灯模型和餐桌模型展示效果图。图 10 是内容感知的 hashing 算法 MATLAB 下的测试效果图，图 11 表示算法与其他描述算子在普利斯顿模型上对比的 precision-recall 图。

不难发现, 内容感知的 hash 算法具有很强的通用性, 它可以应用于草图搜索 2D 图像、草图搜索草图、草图搜索三维模型等领域。



(a) 该方法对于草图检索草图方法的测试效果



(b) 对于草图搜索图像的测试效果图



(c) 对三维模型的检索

图 10 检索结果示意图^[12]

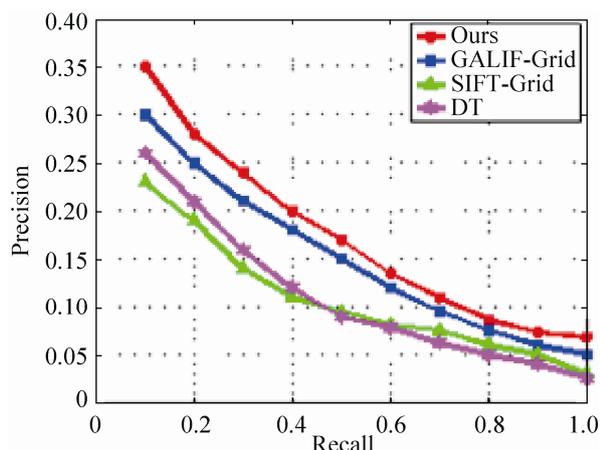


图 11 算法在普林斯顿数据集上的 precision-recall 图^[12]

5 结论

本文介绍了三维模型库 3DLMR 原型系统的实现过程。提出了相关的技术和算法, 通过实验表明, 我们实现的原型系统是能够满足设计要求的。文中我们提出了动态事务管理机制、基于 Adapter 的动态模型加载机制、JSON 的转换算法、轻量级渐进式网格算法, 基于内容感知的 hash 方法的草图搜索算法。在数据存储方面, 提出了结构化数据和非结构化数据分开存储的机制, 充分利用云服务平台提

供的 NoSQL 和 MySQL 数据库, 发挥他们各种优势, 能够最大程度提高系统的数据交互效率。

参考文献:

- [1] Philip Shilane, Patrick Min, Michael Kazhdan, *et al.* The princeton Shape Benchmark [C]// Shape Modeling Applications, Proceedings (doi>10.1109/SMI.2004.1314504). USA: IEEE Computer Society, 2004: 167-178.
- [2] Timothy Scully, *et al.* 3DREPO.io: Building the next Generation web3D repository with Angular JS and X3DOM [C]// 20th International Conference on 3D Web Technology, Web3D'15 ACM, 2015. USA: ACM, 2015.
- [3] Jozef Doboš Management and Visualisation of Non-linear History of Polygonal 3D Models [D]. London, UK: University College London, 2015.
- [4] Alfonso Fuggetta, Elisabetta Di Nitto. Software Process [C]// Proceeding FOSE 2014 Proceedings of the on Future of Software Engineering (doi>10.1145/2593882.2593883), May 31-June 7, 2014. USA: ACM, 2014: 1-12.
- [5] Kettner L, *et al.* Using Generic Programming for Designing a Data Structure for Polyhedral Surfaces [J]. Computational Geometry (doi>10.1016/S0925-7721(99)00007-3) 1999 13, 219-57, 65-90.
- [6] Garland M, Heckbert P S. Surface Simplification Using Quadric Error Metrics [C]// Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '97, New York, NY, USA. New York, USA: ACM Press/Addison-Wesley, 1997: 209-216.
- [7] Rossignac J, Borrel P. Multi-resolution 3D approximation for rendering complex scenes [C]// Falcidieno B, Kunii T L. (eds.) Geometric Modeling in Computer Graphics: Graphics: Methods and Applications. Berlin, Germany: Springer, 1993: 455-465.
- [8] Hoppe H, D Rose T, Duchamp T, *et al.* Mesh Optimization [C]// Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH'93. USA: ACM, 1993: 19-26.
- [9] Schroeder W, Zarge J, Lorensen, W. Decimation of triangle meshes [C]// Proceedings of the 19th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques [J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1992, 26(1): 65-70.
- [10] Hoppe H. Progressive meshes [C]// Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and

- Interactive Techniques, SIGGRAPH '96. USA: ACM, 1996: 99-108.
- [11] S Morigi, M Rucci. Multilevel mesh simplification [J]. *Vis Compute* (doi>10.1007/s00371-013-0873-6), 2014, 30: 479-492.
- [12] Laixiang Wen, J Jia, S Liang. LPM: Lightweight Progressive Meshes Towards Smooth Transmission of Web3D Media over Internet [C]// *Proceedings of the 13th ACM SIGGRAPH*, 2014. USA: ACM, 2014.
- [13] M Eitz, K Hildebrand, T Boubekeur, et al. An evaluation of descriptors for large-scale image retrieval from sketched feature lines [J]. *Compute. Graphics*(doi>10.1016/j.cag.2010.07.002). 2010, 34: 482-498.
- [14] Y.J Liu, X Luo, A Joneja, et al. User-Adaptive Sketch-Based 3-D CAD Model Retrieval [J]. *IEEE Trans. Automation Science and Engineering* (S1545-5955), 2012, 1(99): 1-13.
- [15] B Li, Y Lu, A Godil, et al. SHREC'13 Track: Large Scale Sketch-Based 3D Shape Retrieval [J]. *Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval* (doi>10.2312/3DOR/3DOR12/109-118), 2013: 89-96
- [16] T Funkhouser, P Min, M Kazhdan, et al. A Search Engine for 3D Models [J]. *ACM Trans. Graph* (S0730-0301), 2003, 22: 83-105.
- [17] M Eitz, R Richter, T Boubekeur, K Hildebrand, et al. Sketch-based Shape Retrieval [J]. *ACM Trans. Graph*. (doi>10.1145/2185520.2185527), 2012, 31(4): 1-10.
- [18] M Eitz, K Hildebrand, T Boubekeur, et al. Sketch-based 3D shape Retrieval [J]. *ACM Transactions on Graphics* (doi>10.1145/1837026.1837033), 31: 13-15.
- [19] M Eitz, K Hildebrand, T Boubekeur, et al. Sketch-based Image Retrieval: Benchmark and Bag-of-Features Descriptors [J]. *IEEE Trans. Visual. Compute. Graph* (doi>10.1109/TVCG.2010.266), 2011, 17: 1624-1636.
- [20] B Li, Y Lu, R Fares. Semantic Sketch-based 3D Model Retrieval [C]// *ICME*, IEEE (doi>10.1109/ICMEW.2013.6618316). USA: IEEE, 2013: 1-4.
- [21] Snodgrass J G, Vanderwart M. A Standardized Set of 260 pictures: Norms for Name Agreement, Image Agreement, Familiarity, and Visual Complexity [J]. *Journal of Experimental Psychology Human Learning & Memory*, 1980, 6(2): 174-215.
- [22] F Cole, A Golovinskiy, A Limpaecher, et al. Where Do People Draw Lines? [J]. *ACM Trans Graph* (doi>10.1016/j.cag.2010.07.002), 2008, 27: 1-11.
- [23] J M Saavedra, B Bustos. An Improved Histogram of Edge Local Orientations for Sketch-based Image Retrieval [C]// *M Goesele, S Roth, A Kuijper, et al. DAGM-Symposium, Lecture Notes in Computer Science*. Germany: Springer, 2010, v6376: 432-441.
- [24] S M Yoon, M Scherer, T Schreck, et al. Sketch-based 3D Model Retrieval Using Diffusion Tensor Fields of Suggestive Contours [J]. *A D Bimbo, S-F Chang, A W M Smeulders* (Eds.) *IEEE Multimedia*(doi>10.1145/1873951.1873961), USA: ACM, 2010: 193-200.
- [25] Bo Li, Y Lu, Afzal Godil, Tobias Schreck, Benjamin Bustos, Alfredo Ferreira, et al. A Comparison of methods for Sketch-based 3D Shape Retrieval [J]. *Computer Vision and Image Understanding* (doi>10.1016/j.cviu.2013.11.008) 2014, 119: 57-80.
- [26] Shuang Liang, Long Zhao, Yichen Wei, et al. Sketch-Based Retrieval Using Content-Aware Hashing [C]// *The 15th Annual Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM)*. Berlin, Germany: Springer International Publishing, 2014: 133-142
- [27] 王意洁, 孙伟东, 周松, 等. 云计算环境下的分布存储关键技术 [J]. *软件学报* 2012, 23(4): 962-986.
- [28] 秦秀磊, 张文博, 魏峻, 等. 云计算环境下分布式缓存技术的现状与挑战 [J]. *软件学报*, 2013, 24(1): 50-66.
- [29] 林闯, 苏文博, 孟坤, 等. 云计算安全: 架构、机制与模型评价 [J]. *计算机学报* 2013, 36(9): 1765-1784.