

智能化数字娱乐进展

——第四届智能CAD与数字娱乐学术会议论文集

主编/马利庄 庄越挺

上海交通大学出版社

智能化数字娱乐运营

——以网络游戏运营为例——

王宇 著

清华大学出版社

TP391.72/458

2007

智能化数字娱乐进展

——第四届智能 CAD 与数字娱乐学术会议论文集

主编 马利庄 庄越挺

上海交通大学出版社

内 容 提 要

由中国图像图形学学会计算机动画与数字娱乐专业委员会和中国人工智能学会智能 CAD 与数字艺术专业委员会联合主办,上海交通大学承办的第四届智能 CAD 与数字娱乐学术会议,于 2007 年 9 月 13~14 日在上海举行。本书收集论文摘要及论文共 45 篇,会议录用的部分优秀论文将推荐至《计算机学报》、《软件学报》、《系统仿真学报》、《计算机辅助设计与图形学学报》、《中国图像图形学报》发表。

本书内容涉及数字几何处理、数字游戏与系统、数字教学、人脸处理、心理学与情感生理信号、绘制技术、非真实感动画与绘制、交互技术、图像/视频处理、虚拟现实与增强现实、自然现象仿真、建模与仿真等众多领域,在不同程度上触及智能化数字娱乐发展的前沿,反映了中国学者在智能化数字娱乐领域的最新研究成果。

本次会议得到国家 973(2006CB303105)和国家自然科学基金(60573147)资助。

本书对从事智能化数字娱乐研究、开发和应用的具有较大参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

智能化数字娱乐进展:第四届智能 CAD 与数字娱乐学术会议论文集 / 马利庄,庄越挺主编. —上海:上海交通大学出版社, 2007

ISBN 978-7-313-00937-1

I. 智… II. ①马…②庄… III. 计算机辅助设计-学术会议-文集 IV. TP391.72-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第 132318 号

智能化数字娱乐进展 ——第四届智能 CAD 与数字娱乐学术会议论文集

马利庄 庄越挺 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:890mm×1240mm 1/16 印张:13.5 字数:507 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印数:1-1 050

ISBN 978-7-313-00937-1/TP·678 定价:30.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

近年来,计算机图形图像、网络通信、人机交互设备等技术的迅猛发展极大地推动了 CAD、计算机动画、娱乐传媒及数字艺术等与人工智能技术相互渗透与融合,从而使得智能 CAD、数字娱乐技术成为当前的热点研究领域,得到了人们的广泛关注。从《指环王》、《哈利波特》、《变形金刚》等数字影片中,人们看到了用计算机图形图像技术生成的精彩无比的画面和令人震撼的特技视觉效果;在《最终幻想》、《古墓丽影》、《魔法门》等数字游戏中,人们体验到了数字技术生成的身临其境的影音效果以及高度沉浸式的娱乐享受。从数字影片和数字游戏的发展过程中我们看到了智能化数字娱乐技术在产业上的巨大发展潜力以及在人们文化生活中的重要影响力,从而它引起了各国政府的高度重视。

中外研究人员、艺术家、影视创作者抱着空前的热情,进行着多学科交叉融合、技术与艺术相结合、和谐人机交互的智能化数字娱乐技术的研究。软件、数字娱乐等相关领域界人士一方面为计算机创造的艺术成果而欣喜,另一方面也更积极地研究开发创新技术和新产品。

数字娱乐是一个巨大的具有广阔发展前景的服务产业,目前已经取得了可喜的进展,但仍然存在一系列重要的课题需要研究。数字娱乐与智能 CAD 涉及计算机图形学、数字图像处理、人工智能、多媒体、人机交互、网络技术、影视制作、艺术创意等。由数字娱乐软件的应用中产生的需求,也促进了对上述领域研究的深入。这是一块肥沃的学术与产业结合的可耕之地。

为了进一步促进我国在智能 CAD、计算机动画、数字娱乐及数字艺术领域的研究和应用,由中国图像图形学学会计算机动画与数字娱乐专业委员会和中国人工智能学会智能 CAD 与数字艺术专业委员会联合主办,上海交通大学承办的第四届智能 CAD 与数字娱乐学术会议(CIDE 2007),将于 2007 年 9 月 13~14 日在上海举行。会议将为智能 CAD、数字娱乐及相关领域的学者和业内人士提供一个交流最新研究成果、进行广泛学术讨论的平台。希望这次会议抛砖引玉,引起更多学者和业界人士的兴趣,最终促进中国数字娱乐产业的跨越式大发展。

本次会议共选择收录代表性论文 45 篇,这些论文在很大程度上反映了我国在智能 CAD、计算机动画、数字娱乐及数字艺术等领域的最新研究成果和发展趋势。论文内容包括数字几何处理、数字游戏与系统、数字教学、人脸处理、心理学与情感生理信号、绘制技术、非真实感动画与绘制技术、交互技术、图像/视频处理、虚拟现实与增强现实、自然现象仿真、建模与仿真等。

我们相信,本次会议将进一步推动我国智能化数字娱乐及其相关领域的研究、开发和应用。预祝本次大会取得圆满成功!

大会主席:马利庄 庄越挺

2007 年 9 月 10 日

目 录

一、数字几何处理

隐式曲面形状交互调整的新方法	周元峰 伯彭波 张彩明	1
Cluster 下的文物碎片分类拼接	欧阳磊广 杨承磊 戚 萌 夏存景 孟祥旭	4
不规则网格上的曲面设计方法	何 军 张彩明 杨兴强	5
基于边界表达的网格平滑方法	胡新荣 董海滨 王 晖	6

二、数字游戏与系统

情景式跨媒体数字城市系统	陈 铭 王叶钧 吴 飞 庄越挺	13
基于 Virtools 的农业景观游戏的开发	熊 璞 郭新宇 陆声链 王殿亮	14
从游戏性看待游戏中的死亡及其特征	陈凤斌	18
三维弹球打砖游戏在增强现实中的实现	徐 展 苗振江	22

三、数字教学

单、双盘分析天平仿真及其实现	罗朝晖 秦雪莲 谢秋元	29
基于脚本程序制作多媒体动画课件	王 瞰 俞建新	33
桌面式虚拟现实系统的教育应用探析	杨 梅	37
Authorware 多媒体程序的读取信息数组处理	韦 钰	40

四、人脸处理

基于混合特征和多 HMMs 融合的图像序列表情识别方法	詹永照 李 婷 周庚涛	47
一种基于矩特性的改进 LDB 人脸识别方法	周 蕾 吴玲达 程光权 万 君	48
多人脸追踪过程中的身份识别	任东宁 陈文锋 傅小兰	53
面向表情识别的脸部特征轮廓提取方法研究	徐文晖 孙正兴 张 岩	57
视频人脸检测及表情映射的研究与实现	何 丹 周激流 何 坤	62

五、心理学与情感生理信号

基于变异 BPSO 方法的情感生理信号的特征选择	杨瑞请 刘光远	69
基于禁忌搜索算法的情感生理信号特征选择	王玉晶 刘光远	73
心理旋转与电子游戏相关性研究概述	杨富丽 邓 铸	76
线条的心理学研究	王 颖 张 侃	80

六、绘制技术

基于空盒自适应生成的光线跟踪计算	李 静 王文成 吴恩华	85
一种面向高性能计算机的并行绘制系统设计方法与实现	曾 亮 袁 野 刘衡竹	86
基于梯度域的局部颜色迁移	孟 敏 刘利刚	90
基于减法聚类的光子映射算法	刘晓平 陈 皓	95
基于权值金字塔的多分辨率纹理映射	崔海峰 郑 新 王文成	100
数字地球上的可见性剔除算法	于荣欢 宋汉辰 吴玲达	106

七、非真实感动画与绘制技术

卡通动画中速度线的计算机模拟与应用	叶晓丰 刘 隆 于金辉 彭 韧	113
一种基于手绘草图的建模与动画系统	费广正 李 欣 韩红雷	114
计算机书法创作模拟的人机接口设计	王丽苹 张显俊 董 军	121

变形镜头:卡通线条画中的变形 黄月珠 孟祥旭 杨承磊 戚 萌	125
--------------------------------------	-----

八、交互技术

建筑物三维显示的交互方式的研究 瞿炜娜 孙向红	133
基于运动感知的人机交互方式 张 顺 张 翔	137
视频鼠标系统的研究及实现 钟 钊 周激流	141

九、图像/视频处理

应用纹理合成方法进行基于内容的图像压缩 古元亭 吴恩华	149
利用子窗口区域分类足球视频镜头 于俊清 王 宁	155

十、虚拟现实与增强现实

Java 3D 与其虚拟环境的设计实现 伍燕萍 苗振江	161
增强现实技术的发展和应 周 昕 庄越挺 肖 俊	166

十一、自然现象仿真

虚拟场景中湿润效果的实时建模与绘制 王长波 杨志亮 张 鑫 彭群生	175
雪场景的三维表现 李斌全 魏迎梅	176
基于纹理映射的实时水波效果模拟 王德才 孙玉萍 吴明飞 姜晓佳	180
在紧急状况下基于 BDI 模型的人群疏散仿真研究 纪庆革 朱泳婷	184

十二、建模与仿真

基于双向双极线匹配的双目视觉三维重构 马 林 张彩明	193
一种基于 GPU 的可视壳构建方法 束 搏 邱显杰 王兆其	197
基于知识的概念创新设计系统综述 谭武征 马利庄 毛军发	201

一、数字几何处理

隐式曲面形状交互调整的新方法

周元峰 伯彭波 张彩明

Cluster 下的文物碎片分类拼接

欧阳磊广 杨承磊 戚萌 夏存景 孟祥旭

不规则网格上的曲面设计方法

何军 张彩明 杨兴强

基于边界表达的网格平滑方法

胡新荣 董海滨 王晖

隐式曲面形状交互调整的新方法^{*}

周元峰¹ 伯彭波³ 张彩明^{1,2}

(1. 山东大学计算机科学与技术学院, 济南 250100; 2. 山东经济学院计算机科学与技术学院, 济南 250014;
3. 香港大学计算机科学系, 香港)

随着计算机图形学、辅助几何设计、计算机建模技术的发展, 隐式曲面得到了更为广泛的关注和应用。在曲面建模中, 隐式曲面的优势在于表达形式简单, 用户可方便地判定空间点与隐式曲面的相对位置, 而且其光滑性非常高。隐式曲面能够容易地表示复杂拓扑的曲面, 并且可以很容易地改变曲面拓扑结构。相对于参数曲面建模来说, 隐式曲面的系数对于曲面形状的影响往往是不直观的, 例如, 对于代数曲面, 给定代数曲面的系数之后很难预计它的形状。因此, 隐式曲面模型的一个主要缺点是难以直观地控制和调整曲面的形状。

近年来对于隐式曲面的建模和控制有大量的研究。目前使用较多的隐式曲面类型主要包括代数曲面和 blobby 曲面。后者提供了一种方便的隐式曲面的交互设计方法。用户可通过交互修改各个 blobby 元素来局部修改隐式曲面, 进而生成复杂形状的光滑曲面。blobby 曲面是一张由一些 blobby 基本元素所定义的标量场的等值面。但由于 blobby 元素的单一性, 由 blobby 系统构造一张曲面需要大量基本元素, 且用户对此难以有效控制, 这给交互设计带来了极大的困难。

对于隐式曲面形状的交互调整一直是曲面建模绘制研究中一个比较难的问题。Wilkin 提出了一种基于粒子化的方法对隐式曲面进行采样和控制。该方法约束一组粒子在曲面上, 这些粒子自动对曲面进行采样。粒子之间的排斥力使粒子均匀地分布在曲面上。而且, 该方法能够允许用户交

互调整指定粒子的位置, 从而改变曲面的形状。但是该方法所用的参数太多难以控制, 且文章中仅实现了对于曲面上点的位置的调整。Turk 提出了一种利用变分曲面进行插值建模的造型方法, 该方法简单有效, 得到的曲面插值为线性插值, 构造出来的曲面形状较好, 易于调整, 但是该方法仅适用于变分曲面造型, 对于一般的隐式曲面并不适用。Hart 给出了一种自动确定参数的方法, 能够对较为复杂的隐式曲面的形状进行调整。但这种调整方式也仅实现了对顶点位置的调整, 交互调整方式过于单一。如何实时调整隐式曲面形状是隐式曲面应用中的难点问题。对于隐式曲面形状的调整问题实质上是如何基于约束条件确定新的隐式曲面表达式的系数。

基于上述问题, 本文提出了一种隐式曲面形状交互调整的新方法。该方法实现了对于隐式曲面上指定点进行位置调整和法向调整两种曲面形状方式。基于粒子系统对曲面进行实时绘制。根据用户希望的位置和法向建立目标函数和约束, 利用优化方法极小化目标函数求解出调整后的隐式曲面系数。本文的主要工作包括: ①曲面交互调整方法适用于一般隐式曲面。②可以指定在隐式曲面上的任意一点进行位置或者法向的交互调整。③交互调整能够达到实时效果。

关键词: 隐式曲面; 交互调整; 优化; Blobby 曲面; 粒子系统

^{*} 本文的研究工作得到国家重点基础研究发展规划 973 项目 (2006CB303102) 和国家自然科学基金 (60673003, 60573180) 的资助。

Cluster 下的文物碎片分类拼接^{*}

欧阳磊广 杨承磊 戚 萌 夏存景 孟祥旭

(山东大学计算机科学与技术学院, 济南 250100)

文物是古代社会的生产、生活、科技、艺术等诸多信息的载体,如何将挖掘现场出土的成千上万的文物碎片快速拼接出一个完整的文物,是考古活动的一项繁重工作。对于大量旋转体文物碎片,一般采取预处理、分类、拼接三个主要步骤来复原文物。由于大量文物碎片的复原工作耗时较长,本文主要在 cluster(集群)下采用 MPI 消息传递机制实现文物碎片的并行分类拼接。

本文采用 MPI 消息传递机制来实现并行算法。并行算法采用主从式模式,其中一个节点为主节点,其余节点为从节点。流程主要包括四部分:碎片数据文件的分发、预处理、碎片分类和拼接。碎片数据文件由主节点负责分发,从节点负责计算工作,包括计算其所接收到的碎片的旋转轴及母线等信息。当主节点接收到两个以上碎片的旋转轴及母线信息后,就进行碎片的分类工作。其每收到从节点传回的一份碎片的旋转轴及母线的信息,就与所有已有碎片的母线进行一次母线的相似度匹配工作。由于碎片文件的数目肯定大大多于计算节点的数目,因此,每传回一份母线信息,就在主节点上进行分类比较。对于分类归档的碎片,主节点向所有从节点发送“拼接碎片”的信息,并将碎片分配给从节点。每个从节点对得到的归为一档的碎片进行拼接工作,并将结果返回主节点。

本文还对所采用的分类、拼接算法进行了一定的探讨。

本文采用母线相似度比较的方法来对碎片进行归档。对于二维曲线,曲线上各点对应的曲率完全确定了该曲线的形状,且曲率与坐标系及参数的选择无关。因此,对于母线

按照高度进行采样(该高度即为母线两端点间的垂直距离)。对于待比较的两条曲线首先进行特征点的比较,比如两条母线上都有切点,如果切点经过沿旋转轴的平移能够重合,则继续分析邻接重合点的其他点。如果这些点的坐标在确定好的阈值内能够重合,则继续向两边分析邻接点,直到达到某条母线的端点为止。如果邻接点不能重合,则放弃特征点的比较。对于特征点不能匹配的母线,则将母线采样点的曲率按序存入数组,根据两数组内曲率的 Hausdorff 距离来确定两条母线的匹配度,当母线的匹配度在设定的阈值范围内时,认定两块碎片可归为一档。

对于待拼接的两块碎片,首先根据其点云数据求得边界轮廓线。然后将两块碎片的旋转轴都平移到 x, y, z 坐标系的 y 轴,固定其中的一块碎片,对另一块碎片进行平移旋转操作,就可将两块碎片拼接在一起。本文给出了一种平移旋转操作方法,方便两块碎片的拼接。对于拼接成功的两块碎片,则调整碎片点云数据的坐标值,将两块碎片合并为一块碎片,继续与其他碎片进行拼接操作,直至将同档内的所有碎片都拼接成功。

本文针对工作耗时较长的特点,探讨了 cluster 下的文物碎片的并行分类拼接,取得了较好的效果。相信通过继续改善程序的并行粒度,能够使并行加速比进一步增大。通过快速获取实际旋转体文物碎片的三维模型数据进行实际应用也是下一步需要进行的工作。

关键词: 文物拼接; 旋转轴; 母线; 相似性; 集群

^{*} 本文的研究工作得到国家自然科学基金(60473103, 60473127)和国家重点基础研究发展计划(2006CB303102)的资助。

不规则网格上的曲面设计方法^{*}

何 军¹ 张彩明^{1,2} 杨兴强¹

(1. 山东大学计算机科学与技术学院, 济南 250100;

2. 山东经济学院计算机科学与技术学院, 济南 250014)

在 CAGD、自由形式曲面建模和计算机图形学等领域中,(非均匀有理 B 样条)NURBS 曲面得到了广泛的应用。但是,NURBS 曲面要求控制网格是规则四边形网格,不能用于不规则网格。

细分曲面为任意拓扑曲面的设计、表示和处理提供了高效的算法,在几何设计、计算机图形学、动画、多分辨率建模以及其他的一些工程应用中得到了广泛的使用,它主要包括经典模式和统一组合模式。细分曲面不仅具有 B 样条曲面的各项重要特性,而且可以应用于任意拓扑网格,还可以描述诸如尖点、折痕、镖形过渡点等不连续的特征,从而成为 NURBS 曲面的有益补充。

但是细分曲面在不规则控制点(度数不为 4)处得到的是非多项式曲面片,而在工业应用中,最常用的表示形式是多项式或者有理多项式。细分曲面的问题就在于其不规则控制点处的面片不能表示成多项式或者有理多项式。Peters 对这个问题做了讨论。该方法使用 Catmull-Clark 细分到某一层,然后利用一个简单的变换在每个网格上得到 NURBS 面片表示。除了不规则控制点的附近部分,其余面片间满足 C^2 连续,并且与 Catmull-Clark 细分曲面是一致的。

本文提出一种在不规则控制网格上构造视觉上 C^1 连续

(记为 VC^1 连续)有理双三次曲面的新方法。新方法基于均匀双三次 B 样条基函数的分解的思想,使用类似于 B 样条曲面的方法在不规则控制网格上构造曲面,假设给定控制点是四边形网格的形式。反之,可以对原始网格进行一次 Catmull-Clark 细分从而得到四边形网格,该四边形网格中只包含四边形,但是点的度数任意。

给定四边形控制网格后,对每一个控制点,定义一个权函数。该权函数满足 VC^1 连续,并具局部性,在其控制区域内取非负值,区域外为零。然后,对所有控制点做加权组合从而得到曲面。该曲面是分片有理双三次参数多项式曲面。每个面片对应四边形控制网格上的一个四边形。如果控制网格为规则四边形网格,那么构造的曲面就是均匀双三次 B 样条曲面,从而满足 C^2 连续。

新方法的特色和优点在于:通过一种新的均匀双三次 B 样条基函数的分解方法,将 B 样条曲面方法推广到不规则网格,通过构造权函数来构造曲面,思想简单直观;而且,权函数只与控制点的度数有关,与网格顶点数无关,从而使构造过程也更为简化,只需对控制点做加权组合即可。

关键词:不规则网格; B 样条曲面; 权函数; 分片双三次有理参数多项式曲面

^{*} 本文的研究工作得到国家自然科学基金(60633030,60573180,60533060)资助。

基于边界表达的网格平滑方法

胡新荣 董海滨 王 晖

(武汉科技学院计算机科学学院, 武汉 430074)

摘 要: 网格平滑是实现三维模型离散造型的主要方法。本文介绍了利用边界表示法表达三维实体几何模型的方法, 使得三维模型的表达更加简洁和高效。半边结构是三维模型中常用的边界拓扑, 本文在基于改进半边结构的几何模型上实现了三角网格的 Loop 细分算法, 并给出了一个三维模型的网格细分平滑过程。结果证明, 基于边界表达模型的三角网格 Loop 细分效率高, 细分后的三维实体表面平滑, 易于实现三维几何模型的多曲率三角网格光滑变化。

关键词: 边界表达; Loop 细分; 三角网格; 半边结构; 曲率

引言

在计算机图形学(CG)、计算机辅助设计及制造(CAD/CAM)和计算机动画等领域, 人们通常用多边形网格尤其是三角网格来描述三维几何形体。用三角网格表示的形体数据量小, 易于控制, 但这种不规则网格结构表示的几何模型外观粗糙、分辨率低, 同时也不利于显示及其他后续操作^[1], 因而有必要在满足几何精度要求的同时, 对三角网格模型进行调整和平滑。

曲面细分是一项重要的网格平滑技术, 也是图形学领域的一个研究热点。曲面细分是以低分辨率的控制网格和定义在控制网格上的细分规则来表示光滑曲面的^[2]。它解决了在任意拓扑曲面造型时, NURBS 很难处理面片间的拼接问题和实现困难的问题; 也解决了隐式曲面难以控制交互性差的问题。近年来, 曲面细分技术发展迅速并得到广泛的应用。根据几何模型拓扑分裂技术, 目前用于几何模型的曲面细分方法可以分为两大类^[3]: 一种是面分裂法, 另一种是点分裂法。面分裂法是一种基本网格细分的方法, 这种方法在细分过程中, 在保持原三角网格顶点位置不变或重新计算的前提下, 在三角网格的每条边新增一个矢量点, 将组成三角网格的每个面分裂为四个面。点分裂法是一种对偶型方法, 它是在和初始网格的顶点相邻的每个面插入一个新顶点, 每条边产生一个新面, 保留原来的面, 对应于每个顶点产生一个新面。点分裂法不适合于三角网格模型, 因此本文中选择合适的三角网格模型的面分裂方法——Loop 细分算法来实现网格平滑。

几何模型的网格细分是通过已有的三角网格的顶点、边、面的层次上查找邻接信息, 即网格平滑是一个具有明显的层次结构的过程, 所以建立一个适合于三角网格平滑的数据结构是十分重要的。本文在传统的三维几何模型的边界

表达基础上, 提出了在 Loop 曲面细分算法中采用改进半边结构, 实现了三维几何模型的网格平滑。

1 几何模型的边界表达

三维几何模型的边界表达^[4]是通过描述物体的边界来表达物体的三维轮廓与空间位置, 从而建立物体的三维模型。物体的边界由物体的顶点、边和平面来表示, 同时也是物体内部点与外部点的分界面。

几何模型的边界表达记录了物体的几何信息与拓扑信息, 几何信息描述物体的大小、尺寸、位置、形状等; 拓扑信息存储物体上所有的顶点、边和面的连接关系, 边界的拓扑关系构成了物体的框架, 而几何关系则体现了物体的细节。

采用边界表达描述的几何模型一定满足欧拉公式:

$$v + f - e - 2 = 0 \quad (1)$$

其中, v 是几何模型的所有顶点数, f 是几何模型的所有面数, e 是几何模型的边数。

边界表达在需要对物体进行局部少量的修改时, 如改变物体某平面的形状、将棱边的尖锐的角修改为圆弧过渡或调整为某顶点的位置等, 只涉及几何信息和拓扑关系的局部修改, 运算效率较高。在对物体进行坐标变换时, 只需要改变几何模型空间点的坐标, 而模型的拓扑关系可以基本保持不变, 在图形的生成和几何特性的计算上有较大的优势, 可以方便地实现拓扑一致性检验。边界表达法由向量表达发展而来, 因此可以用向量表达式, 能反映物体的细节部分。

为了对物体的数据信息进行存储管理, 可以采用多种数据结构, 如翼边结构、对称结构、半边结构等等。其中半边结构是通过三个表结构存储物体的数据信息: 顶点表、边表和

面表,因此简单、易于实现。

2 半边结构及操作

2.1 半边结构

传统的半边结构^[5]是对翼边结构^[6]的改进,它把二维流形体模型的一条边分成两个半边,每个半边存储了其起始点的指针,两个半边描述了一条完整的边。与翼边结构相比,半边结构具有明确的正方向。半边结构的数据结构^[7]如图1所示。

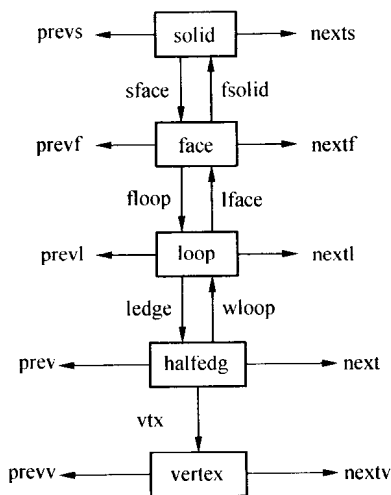


图1 半边结构层次图

从图1中可见,实体结点构成了一个半边数据结构引用的根结点,它通过三个双链表的指针实现对面、边和顶点的访问,所有的实体被链接到一个双向链表中这个表通过 pres 和 nexts 来访问实体;面结点用来表示实体的一个小平面,每一个小平面与一组环相联系,通过 pref 和 nextf 实现对其他面的访问;环结点描述面的一个边界,它具有一个指向所属面的指针,一个指向构成边界的指针和指向该环的后继环和前驱环的指针;半边结点表示一个环的一条线段,它是由在一个指向其所属环和一个指向该线段起始顶点的指针组成,其中,pre 和 nxt 指针实现环半边的双向环表;顶点结点包含一个齐次坐标值和指向其后继顶点 nextv 和前驱顶点 prevv 的两个指针来实现一个实体的顶点双向链表。半边数据结构保留了翼边结构的所有优点。但应用于曲面细分中,该数据结构有较大的信息冗余,因此,在三维几何模型的细分中需要对它进行改进。

2.2 改进半边结构的定义

在改进的半边结构^[6]中,每个半边包含四个指针:一个指向起始顶点;一个指向包含这个半边的面;一个指向下一个环绕面的半边;一个指向它的相反方向邻接半边。表面上看,改进半边结构去掉了环这个层次,实际上,环的信息已经隐含在半边中。与传统的半边结构相比,改进半边结构可以降低数据的存储量。用 C++ 描述如下:

```
class Hf_edge
```

```
{
    Vertex      * vert; //半边的起始顶点
    Face         * face; //包含这个半边的面
    Hf_edge      * next; //下一个环绕面的半边
    Hf_edge      * pair; //反向邻接半边
};
```

顶点在半边结构中存储了 x 、 y 和 z 轴的坐标,并且存储了一个指向以这个顶点为起始点的半边的指针。半边可能不止一个,但选择其中的任意一个即可。

```
class Vertex
{
    float        x,y,z; //3D 坐标
    Hf_edge      * edge; //依附于该顶点的半边
};
```

在半边结构中,面只需要储存它所包含的半边。根据应用的需求,可能还需要存储纹理坐标和法线。面的半边指针和顶点里的指针一样,只需要存储任意一个半边即可:

```
class Face
{
    Hf_edge      * edge; //面包含的一个半边
};
```

最后,由顶点、半边和面共同描述三维实体的曲面网格:

```
Class Mesh
{
    list<Face    * > faceList; //面表
    list<Hf_edge * > hfedgeList; //半边表
    list<Vertex  * > vertexList; //顶点表
};
```

改进半边结构一般用于表达流型曲面(manifold),因此它的指针不会指向空地址。

2.3 建立基于三角网格的半边存储结构

描述三维几何模型的三角网格如图2所示。 v_0 、 v_1 、 v_2 、 v_3 为网格顶点, f_1 、 f_2 为网格面。

对图2中的三角网格利用半边结构建立的半边表、顶点表和面表的数据结构分别见表1、表2和表3:

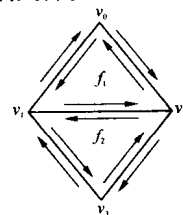


图2 三角网格

表1 半边表

Half_edge	Vertex	Face	next	pair
$v_1 v_2$	v_1	f_1	$v_2 v_0$	$v_2 v_1$
$v_2 v_1$	v_2	f_2	$v_1 v_3$	$v_1 v_2$

表2 顶点表

Vertex	Half_edge
v_0	$v_0 v_1$
v_1	$v_1 v_2$
v_2	$v_2 v_0$
v_3	$v_3 v_2$

表 3 面表

Face	Half_edge
f_1	$v_1 v_2$
f_2	$v_2 v_1$

2.4 半边结构的基本查询操作

通过如下操作可以实现给定一条边查询另一条边的任务:

```

innerNext(e) = e->next;
rot(e) = innerNext(innerNext(e));
pair(e) = e->pair;
outNext(e) = innerNext(pair(e));
边到点的查询操作,定义如下:
org(e) = e->vert;
dist(c) = org(innerNext(e));
left(e) = dist(outNext(e));
right(e) = dist(innerNext(e));

```

给出一条边 e , 它的几个基本查询操作如图 3 所示。

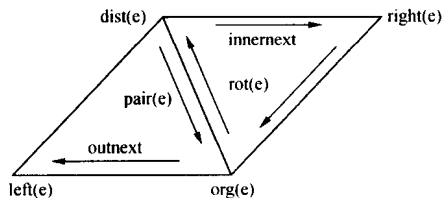


图 3 基于半边的操作示意图

另外,下面的一组操作也会经常使用:

```

getHf_edge(v) = v->Hf_edge; //返回起始顶点的半边
getHf_edge(f) = f->Hf_edge; //返回面所包含的一条半边

```

通过上述基本操作,可以实现任意查询操作及操作组合,例如在线性时间内查询顶点 v 的所有邻接点等。

3 Loop 细分

Loop 细分是 Charles Loop 在 1987 年犹他大学的硕士论文^[2]中提出来的。这是一种面分裂逼近细分模式。Loop 细分模式是基于 3 次 box 样条,所生成的曲面在它奇异点处达到 G^1 连续,正则点处达到 C^2 连续^[7]。它的细分模式是把一个三角形分裂成 4 个小三角形(如图 4 所示)。

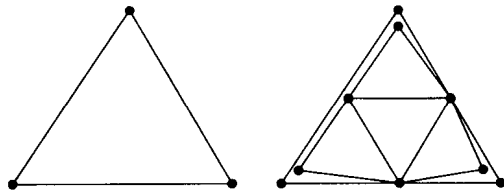


图 4 面分裂示意图

Loop 细分生成两类新点,一类是与原来的顶点对应的新顶点,另一类是每条边上的细分点,称为新边点。

3.1 新顶点的几何规则^[8]

如图 5(a)所示,若顶点 v 的边邻点为 $v_1, \dots, v_n$, 其中 n

为邻接点的个数。则相应的新顶点 v_v 为顶点 v 的权值与其相邻顶点的加权和:

$$v_v = (1 - n\beta)v + \beta \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

$1 - n\beta$ 为 v 的权值,相邻点的权值为:

$$\beta = \frac{1}{n} \left[\frac{5}{8} - \left(\frac{3}{8} + \frac{1}{4} \cos \frac{2\pi}{n} \right)^2 \right] \quad (3)$$

另一种简化的处理方法是:当 $n = 3$ 时, $\beta = 3/16$; $n > 3$ 时, $\beta = 3/(8n)$ 。

3.2 新边点的几何规则^[8]

如图 5(b)所示,假设内部边的两个顶点为 v_1, v_2 , 共享这条边的两个三角形分别为 $(v_1, v_2, v_3), (v_1, v_2, v_4)$, 则新边点 v_E 为:

$$v_E = (v_1 + v_2)/8 + 3(v_3 + v_4)/8$$

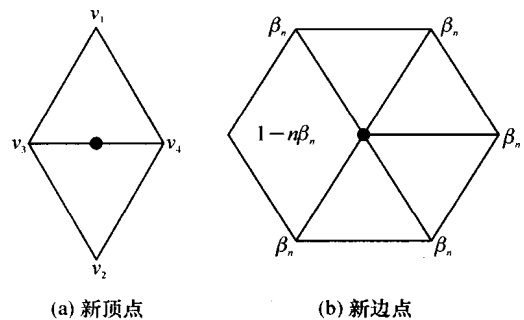


图 5 新点的几何规则

3.3 算法设计与实现

从课题的实际应用出发,将表达几何模型的改进半边结构与 Loop 细分算法相结合,提出并实现了如下算法:

step 1: 取三维几何模型中待计算新顶点和新边点的一个三角面;

step 2: 指定该三角面的一条边 e , 通过半边结构的程序操作获得 $left(e)$ 和 $right(e)$;

step 3: 通过新边点的几何规则计算出新边点;

step 4: 重复 step 2 和 step 3 直到三角面的 3 条边的新边点构造完毕;

step 5: 取三角面的任意一个顶点 v , 查询获得它的所有邻接点;

step 6: 利用新顶点的几何规则, 计算顶点 v 的新顶点;

step 7: 重复 step 5 和 step 6 直到三角面的三个顶点的新顶点构造完毕;

step 8: 将上述 3 个新顶点和 3 个新边点按三维几何模型的拓扑连接成 4 个面;

step 9: 重复 step 1~step 8, 直到几何模型中所有的三角面完成了上述步骤中相同的操作;

step 10: 重新生成连接信息, 完成三维几何模型的一次细分过程。

4 实验结果与讨论

为了验证本文设计的算法,笔者在 Visual C++ 6.0 上实现了算法设计系统,该系统用来完成几何模型的细分,并计算出每次细分所需的时间、顶点和面的个数(见表 4),图 6 给出了四面体网格模型的细分程序运行结果截图。系统环境为: pentium4 1.5GHz cpu,内存 256M,显卡为 NVIDIA RIVA TNT2,操作系统 windows XP。

表 4 运行数据及所需时间

网 格	顶点/个	面/个	时间/ms
初始数据	4	4	
第一次细分	10	16	0.000 4
第二次细分	34	64	0.001
第三次细分	130	256	16
第四次细分	514	1 024	62
第五次细分	2 050	4 096	234
第六次细分	8 194	16 384	953
第七次细分	32 770	65 536	3 906

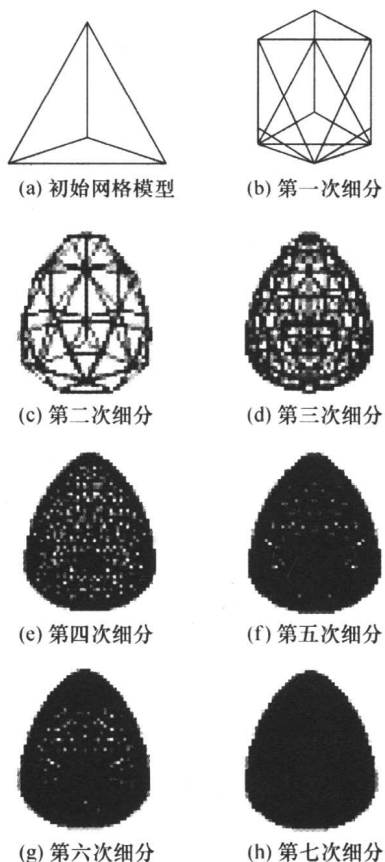


图 6 四面体的网格模型的细分过程

从图 6 中可以看出,第三次细分时几何网格模型已经很光滑了,而且需要的时间也很少,收敛速度非常快,因此对一般的三维模型利用改进半边结构进行 Loop 细分时,只要进行三次细分即可。

5 结束语

改进半边结构比传统的半边结构少了环这个层次,从而降低了它的数据存储量,但也限制了它的普遍适用性。Loop 细分收敛速度快,光滑性好,算法简单。从课题的实际应用需求出发,本文研究了基于改进半边结构的 Loop 曲面细分算法。从实验结果来看,基于改进半边结构的 Loop 细分算法对初始网格的面积和形状改变比较大,因此如何解决这个不足,是以后的研究中需要解决的问题。

参考文献

- [1] 张丽艳,聂军洪,周来水,等. 自适应三角网格模型重新布点算法的研究[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2002, 14(3).
- [2] 王占东. 细分曲面关键技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2003, 9.
- [3] 张景桥. 细分曲面生成及其在曲面造型中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2003, 6.
- [4] 吴湘, 赵万生, 魏莉. 三维几何表示法[M]// 航天制造技术, 2002, 8.
- [5] MANTYLA M. An Introduction To Solid Modeling [M]. Computer Science Press, 1988.
- [6] BAUMGART BG. Winged-edge Polyhedron Representation [R]. Technical Report STAN-CS-320, 1972.
- [7] RENATO PAJAROLA. Efficient Implementation of Real-Time [M]// View-Dependent Multiresolution Meshing.
- [8] 潘云鹤. 智能 CAD 方法与建模[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [9] FOLEY J D, ANDRIES VAN DAM, et al. Computer Graphics Principles and Practice [M]. second edition in C. Prentice Hall, 1996.
- [10] MAX MCGUIRE. The Half-Edge Data Structure [EB/OL]. (2000-08) <http://www.flipcode.com>.
- [11] CHARLES LOOP. Smooth subdivision surface base on triangles [D]. 美国犹他州: 犹他大学, 1987-08.
- [12] 李桂清. 细分曲面造型及应用[D]. 北京: 中国科学院, 2001-06.

