

PaperFree检测报告简明打印版

相似度：21.78%

编号：TUJXNAHIXMAU8CE0

标题：虚拟手术仿真中软体建模与碰撞检测技术的研究

作者：doublehappy

长度：20199字符

时间：2015-11-18 20:14:36

比对库：中国学位论文全文数据库；中国学术期刊数据库；中国重要会议论文全文数据库；英文论文全文数据库；互联网资源；自建比对库

相似资源列表(学术期刊，学位论文，会议论文，英文论文等本地数据库资源)

1. 相似度：0.76% 篇名：《分析物理问题的基本步骤》
来源：《空中英语教室：新教师教学》 年份：2011 作者：韩波
2. 相似度：0.62% 篇名：《基于包围盒的碰撞检测算法研究》
来源：《河南科技大学硕士论文》 年份：2011 作者：戴高乐
3. 相似度：0.4% 篇名：《利用Amira进行帕金森病靶点核团的分割及三维重建》
来源：《医疗卫生装备》 年份：2012 作者：薛艳青
4. 相似度：0.33% 篇名：《碰撞检测算法研究》
来源：《软件导刊》 年份：2012 作者：于复胜
5. 相似度：0.33% 篇名：《实时碰撞检测算法的探讨与研究》
来源：《计算机光盘软件与应用》 年份：2011 作者：陈怡皓
6. 相似度：0.31% 篇名：《虚拟环境中碰撞检测技术的研究与实现》
来源：《南京航空航天大学硕士论文》 年份：2009 作者：朱丽丽
7. 相似度：0.28% 篇名：《医学图像分割与三维重建算法的研究》
来源：《山东大学硕士论文》 年份：2008 作者：赵莉娜
8. 相似度：0.23% 篇名：《MC算法在CT医学图像三维重建中的应用》
来源：《现代计算机：上下旬》 年份：2013 作者：韩成虎
9. 相似度：0.21% 篇名：《基于简化的质点-弹簧模型织物变形仿真研究》
来源：《计算机仿真》 年份：2011 作者：刘凌霞
10. 相似度：0.16% 篇名：《基于cuda的医学图像三维重建系统设计与实现》
来源：《苏州大学硕士论文》 年份：2012 作者：张静乾
11. 相似度：0.15% 篇名：《一种新的基于混合层次包围盒的碰撞检测算法》
来源：《计算机工程与应用》 年份：2012 作者：姜晓路
12. 相似度：0.12% 篇名：《基于面绘制的图像三维可视化算法研究》
来源：《电子科技大学硕士论文》 年份：2007 作者：姜赞
13. 相似度：0.12% 篇名：《直接三维ect图像重建算法的研究》
来源：《沈阳工业大学硕士论文》 年份：2013 作者：姜洪娜
14. 相似度：0.12% 篇名：《用混合包围盒优化碰撞检测方法》
来源：《计算机工程与应用》 年份：2011 作者：宁涛
15. 相似度：0.11% 篇名：《医学图像分割与三维重建》
来源：《电子科技大学硕士论文》 年份：2009 作者：王召伟
16. 相似度：0.11% 篇名：《基于包围盒碰撞检测算法研究》
来源：《黑龙江科技信息》 年份：2011 作者：龚轩涛
17. 相似度：0.1% 篇名：《基于改进的mc与mt方法的三维重建的研究与实现》
来源：《东北大学硕士论文》 年份：2010 作者：张晔
18. 相似度：0.09% 篇名：《三维地震数据可视化研究》
来源：《成都理工大学硕士论文》 年份：2007 作者：洪源
19. 相似度：0.09% 篇名：《三维影视模型制作方法浅析》
来源：《美术教育研究》 年份：2012 作者：孙宏
20. 相似度：0.09% 篇名：《使用GPU编程的工业CT断层图像三维可视化技术》
来源：《应用科技》 年份：2011 作者：胡剑

21. 相似度: 0.09% 篇名: 《基于序列图像三维重建的稻种品种识别》
来源: 《农业工程学报》 年份: 2014 作者: 钱燕
22. 相似度: 0.09% 篇名: 《虚拟环境中碰撞检测问题的研究》
来源: 《青岛科技大学硕士论文》 年份: 2009 作者: 杨眉
23. 相似度: 0.08% 篇名: 《基于骨架的网格模型变形》
来源: 《计算机工程》 年份: 2012 作者: 齐晓明
24. 相似度: 0.08% 篇名: 《基于规则的快速三维建模技术研究》
来源: 《城市勘测》 年份: 2013 作者: 谢年
25. 相似度: 0.08% 篇名: 《基于几何着色器的三角形网格细分实现》
来源: 《重庆航天职业技术学院学报》 年份: 2013 作者: 夏乙
26. 相似度: 0.07% 篇名: 《基于包围盒和空间分割的碰撞检测算法研究》
来源: 《华中师范大学硕士论文》 年份: 2009 作者: 刘直良
27. 相似度: 0.07% 篇名: 《虚拟现实技术中碰撞检测算法研究》
来源: 《自动化技术与应用》 年份: 2012 作者: 杨卓
28. 相似度: 0.06% 篇名: 《基于质点—弹簧模型的布料仿真》
来源: 《天津大学硕士论文》 年份: 2009 作者: 常元章
29. 相似度: 0.06% 篇名: 《气垫船视景仿真中碰撞检测算法研究》
来源: 《哈尔滨工程大学硕士论文》 年份: 2009 作者: 刘慧玲
30. 相似度: 0.06% 篇名: 《Matlab在计算机图形学中的应用》
来源: 《东北电力大学学报》 年份: 2013 作者: 胡建平
31. 相似度: 0.06% 篇名: 《通用导弹检测模拟训练系统并行设计方法与实现》
来源: 《计算机测量与控制》 年份: 2012 作者: 杨博
32. 相似度: 0.05% 篇名: 《基于改进移动立方体的医学图像三维重建算法》
来源: 《计算机应用》 年份: 2013 作者: 高峰
33. 相似度: 0.05% 篇名: 《基于统计模型的颅面复原技术研究》
来源: 《西北大学硕士论文》 年份: 2009 作者: 欧小哲
34. 相似度: 0.05% 篇名: 《基于层次包围盒的混合碰撞检测算法》
来源: 《计算机工程与科学》 年份: 2012 作者: 胡咏梅
35. 相似度: 0.05% 篇名: 《适用于云计算的多接收方代理重加密方案》
来源: 《武警工程大学学报》 年份: 2014 作者: 吴旭光
36. 相似度: 0.05% 篇名: 《车牌识别中字符分割的研究》
来源: 《中国科技论文在线》 年份: 2011 作者: 钱成

相似资源列表(百度文库, 豆丁文库, 博客, 新闻网站等互联网资源)

1. 相似度: 1.93% 标题: 《CT_百度百科》
来源: <http://baike.baidu.com/view/2205.htm>
2. 相似度: 1.91% 标题: 《急求关于小家电方面的文献综述,有资源的速来,保证分让你满意!》
来源: <http://wenwen.sogou.com/z/q196302562.htm>
3. 相似度: 1.31% 标题: 《AABB包围盒、OBB包围盒、包围球的比较 - 王惊鸣的专栏 - 博客频道...》
来源: <http://blog.csdn.net/wangjiannuaa/article/details/6073253>
4. 相似度: 0.71% 标题: 《有限元分析_互动百科》
来源: <http://www.baik.com/wiki/%E6%9C%89%E9%99%90%E5%85%83%E5%88%86%E6%9E%90>
5. 相似度: 0.52% 标题: 《人物建模前景如何学人物建模用哪些软件 - 娃娃网》
来源: <http://www.waaku.com/infoview7098764.html>
6. 相似度: 0.47% 标题: 《什么是等值面_百度知道》
来源: http://zhidao.baidu.com/link?url=woOWL_QgqPuNm8UQx5AGSOfJkRfAYZEFYctAZrUao1gdRJZZHNEj
7. 相似度: 0.44% 标题: 《FEI Amira 6.0.1 Win/Mac/Lnx |百度云网盘|下载|破解|uploaded|nitro...》
来源: <http://www.0daydown.com/08/414275.html>
8. 相似度: 0.4% 标题: 《AABB包围盒、OBB包围盒、包围球的比较- 痞子龙3D编程- 博客...》
来源: <http://blog.csdn.net/pizi0475/article/details/6278425>
9. 相似度: 0.37% 标题: 《工字钢与槽钢组合门字架受力变形分析计算力学课程设计- 道客巴巴》
来源: <http://www.doc88.com/p-49535589743.html>
10. 相似度: 0.34% 标题: 《Sketch Based 3D Animation Copy - Springer》
来源: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11941354_48

11. 相似度: 0.33% 标题: 《Improving the Feasibility Pump_文档资料库》
来源: <http://www.03964.com/read/f216b73179cc11177a64e2d3.html>
12. 相似度: 0.29% 标题: 《arccgis三维应用集锦89-第21页》
来源: http://3y.uu456.com/bp_4b7kg41wb08iwn479eu_21.html
13. 相似度: 0.29% 标题: 《Based on the Kriging hydrogeologic layer 3D modeling and ...》
来源: <http://www.51lunwen.com/geology/2011/1015/lw201110151834352177-2.html>
14. 相似度: 0.27% 标题: 《手术仿真中基于质点-弹簧模型的人体组织变形仿真--《青岛大学学报...》
来源: <http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-QDDX200303002.htm>
15. 相似度: 0.26% 标题: 《也说无网格方法--任晓丹博士_爱智求真敢问真_新浪博客》
来源: http://blog.sina.com.cn/s/blog_4cf215470100g675.html
16. 相似度: 0.25% 标题: 《有限元分析 (FEA , Finite Element Analysis) 》
来源: <http://www.douban.com/note/62217433/>
17. 相似度: 0.25% 标题: 《等值面_好搜百科》
来源: <http://baike.haosou.com/doc/537657-569200.html>
18. 相似度: 0.23% 标题: 《医疗卫生装备杂志2012年8期录用通知》
来源: http://www.med126.com/lunwen/2014/20140716170006_930517.shtml
19. 相似度: 0.22% 标题: 《等值面抽取技术 (Iso-surfaces Extraction Technique) | PKU ...》
来源: <http://vis.pku.edu.cn/blog/%e7%ad%89%e5%80%bc%e9%9d%a2%e6%8a%bd%e5%8f%96%e6%8a%isurfaces-extraction-technique%ef%bc%89/>
20. 相似度: 0.22% 标题: 《Meshless methods for physics-based modeling and simulation of ...》
来源: <http://link.springer.com/article/10.1007/2Fs11432-009-0069-x>
21. 相似度: 0.2% 标题: 《大型螺旋桨五轴加工中基于方向包围盒层次树的全局干涉碰撞检测...》
来源: <http://xuewen.cnki.net/CJFD-ZGJX200703012.html>
22. 相似度: 0.2% 标题: 《[2] Amira – User's Guide and Reference Manual as well as Amira ...》
来源: http://www.chinadmd.com/file/x6wtzewaucroixcorsiox6o_1.html
23. 相似度: 0.18% 标题: 《口腔X线片投照技术- 道客巴巴》
来源: <http://www.doc88.com/p-3149056801349.html>
24. 相似度: 0.18% 标题: 《...网络游戏场景建模 名师教你制作火盆-三维动画视..._星火视频教程》
来源: <http://www.21edu8.com/pcnet/3d/19064/>
25. 相似度: 0.16% 标题: 《Amira与UG及ALGOR软件联合建立下颌磨牙三维有限元模型--《医学...》
来源: http://journal.9med.net/html/qikan/dxxb/dsjydxsb/20075279/yjyz/20080831122610849_259654.html
26. 相似度: 0.13% 标题: 《有限元-工作总结范文网》
来源: <http://www.2401.net/sx/1eb5571a3cda72171c5f5997d91b8aae.html>
27. 相似度: 0.13% 标题: 《【精品文档】-基于PhysX物理引擎的布料仿真技术的研究与实现- ...》
来源: <http://www.doc88.com/p-971177960575.html>
28. 相似度: 0.12% 标题: 《kelvin模型的翻译结果--cnki翻译助手》
来源: http://dict.cnki.net/dict.aspx/h_2874167000.html
29. 相似度: 0.11% 标题: 《Gray 主要实现在灰度图像上处理 的值,包括 线性变换等操作. 如果是...》
来源: http://www.pudn.com/downloads79/sourcecode/graph/texture_mapping/detail302109.html
30. 相似度: 0.09% 标题: 《质点-弹簧模型论文 - 金月芽期刊网 免费论文下载》
来源: <http://www.jinyueya.com/keyword/3913502.htm>
31. 相似度: 0.09% 标题: 《质点弹簧-共享资料网》
来源: <http://racktom.com/read/9276011c396843329f356599.html>
32. 相似度: 0.08% 标题: 《包围盒_互动百科》
来源: <http://www.baike.com/wiki/%E5%8C%85%E5%9B%B4%E7%9B%92>
33. 相似度: 0.08% 标题: 《三维空间规则数据场的等值面构造_甜梦文库》
来源: <http://9512.net/read/8a596449d08385f115debc65.html>
34. 相似度: 0.08% 标题: 《VTK中体绘制方法_walk2dd_新浪博客》
来源: http://blog.sina.com.cn/s/blog_48db1230010009x4.html
35. 相似度: 0.07% 标题: 《唇裂畸形计算机质点弹簧模型建立的研究(颌面美容)》
来源: <http://www.100md.com/html/paper/1008-6455/2007/03/25.htm>
36. 相似度: 0.07% 标题: 《MC算法_酷我资料网》
来源: <http://kooorio.com/e3fe4b7ca26925c52cc5bf46.html>

37. 相似度: 0.07% 标题: 《基于质点-弹簧模型的三维服装模拟.pdf.pdf - 免费查看前50页淘豆网》
来源: <http://www.taodocs.com/p-12098622.html>
38. 相似度: 0.05% 标题: 《三维旋转: 旋转矩阵, 欧拉角, 四元数 - 一叶斋主人 - 博客园》
来源: <http://www.cnblogs.com/yiyezhai/p/3176725.html>
39. 相似度: 0.05% 标题: 《知识搜索》
来源: <http://search.cnki.com.cn/search.aspx?q=AABB%E5%8C%85%E5%9B%B4%E7%9B%92>
40. 相似度: 0.05% 标题: 《包围盒方法在虚拟手术碰撞检测中的应用分析.pdf文档全文免费阅读、...》
来源: <http://max.book118.com/html/2015/1005/26685363.shtm>

全文简明报告

第5章介绍了系统的搭建与实验相关内容,验证第3章与第4章研究技术的性能表现。

最后,总结概括了本文的工作,对工作中的缺点与不足进行分析,同时对未来工作做了展望。

第2章 虚拟手术仿真中软体的几何建模方法

2.1 引言

虚拟手术中的软体组织模型主要包含两个方面,一是几何模型,{ 55% : 由基本的几何图元--点、线、面等元素组成, }最终通过OpenGL绘制到显示设备上,是有形可见的,通过几何建模方法建立;二是,物理模型,{ 57% : 在几何模型提供的相应信息基础上, }利用几何学或运动物理学建立相应运动学模型,使模型能产生运动、变形等,然后将运动、变形反应到几何模型上给人视觉反馈,物理模型本身是无形不可见的,通过物理建模方法建立。几何模型和物理模型的关系类似与形与神的关系,形神兼备就可以表现软体在外力作用下的变形、切口形成等。同时几何模型也是物理模型和碰撞检测的基础,所以几何模型的建立也是虚拟手术系统中很关键的一环。本章重点介绍软体的几何建模方法,物理建模方法将在下一章介绍。

2.2 软体几何建模方法分类

人体有不同的器官和组织,不同的器官和组织在结构、生物力学特性方面当然不同,为了真实模拟相应对象,应根据器官或组织的特点建立相应几何模型。像人体的胃、肠、血管等都是薄壁结构,肝脏、心脏、肾脏近似于实心结构,对于薄壁结构我们一般建立面模型,实心结构建立体模型。

{ 65% : 建立几何模型的方法有两种, }一是,利用获取的医学图像(如CT图、MRI图等)通过三维重建获得;二是,通过建模软件(如3ds Max、Maya等)建立。前者得到的模型更真实,但方法复杂;后者得到的模型跟真实的器官组织会有差异,但建立简单。具体选择何种途径建立相应的软体几何模型取决于几何模型的应用环境,对于要求真实性高的系统如术前规划系统、术中导航系统等,要利用医学图像三维重建方法建立几何模型;对于要求真实性不高的系统如演示系统、训练系统,为了降低复杂性可以选择利用三维建模软件建立。

2.3 利用医学数据三维重建法

利用医学数据进行三维重建获得几何模型方法的步骤如图2.1所示。主要分为四步,数据获取,预处理,三维重建和后期优化。

图2.1 利用医学数据三维重建流程图

(1)数据获取

数据获取是指医学图像数据的获取,{ 57% : 一般常用的有CT和MRI图像。 }

{100% : CT(Computed Tomography),即电子计算机断层扫描,它是利用精确准直的X线束、 γ 射线、超声波等,与灵敏度极高的探测器一同围绕人体的某一部位作一个接一个的断面扫描, }{100% : 由探测器接收透过该层面的X射线,转变为可见光后,由光电转换变为电信号,再经模拟/数字转换器(analog/digital converter)转为数字, }输入计算机处理。{100% : 图像形成的处理有如对选定层面分成若干个体积相同的长方体,称之为体素(voxel)。 }{100% : 扫描所得信息经计算而获得每个体素的X射线衰减系数或吸收系数,再排列成矩阵,即数字矩阵(digital matrix), }{100% : 经数字/模拟转换器(digital/analog converter)把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白不等灰度的小方块,即像素(pixel),并按矩阵排列,即构成CT图像。 }

{ 78% : MRI是磁共振成像,英文全称是:Magnetic Resonance Imaging。 }{100% : 磁共振成像是断层成像的一种,它利用磁共振现象从人体中获得电磁信号,并重建出人体信息。 }

(2)预处理

{ 56% : 因为获取的图像中包含很多信息, }也许我们只对某一组织感兴趣,其他的对于我们来说都是干扰信息,

{ 65% : 所以我们就需要对图像进行预处理, }分割提取出我们所需要的部分,也许图像中的所有组织器官都是我们所需要的,但图像质量不高需要我们做增强优化处理等。这一步是三维重建的基础,预处理结果的好坏直接影响三维重建的难易程度和重建的质量。CT和MRI图像一般都是DICOM格式的结构化数据,为了使重建结果能准确表现器官或组织的表面和内部信息就需要切片图像提供相应的细节,所以对于切片图像只做相应的分割提取处理即可,直接用原始灰度图像序列作为三维重建的体数据输入。

(3)三维重建

这一步是整个流程的核心,依据断层图像重建出实体几何模型,接下来我们会重点介绍。

(4)后期优化

后期优化,对已经得到的模型不理想的区域进行优化,同时简化模型。

这里的三维重建是指对利用断层图像序列数据建立适合计算机表示和处理的数学模型表示的软体组织。{84% : 现在三维重建的方法主要分为面绘制和体绘制两种。 }

2.2.1 面绘制三维重建法

面绘制法得到的是一个表面模型,利用多边形面片(一般为三角形)拼接拟合来逼近表示。常用的方法有基于边界轮廓线连接方法和基于体素等值面提取的方法[[[] 王召伟,{94% : 医学图像分割与三维重建 [D].电子科技大学, }2009:27-41页]]。面绘制法是最为常用和最为简单的方法。

基于边界轮廓线连接方法主要应用于早期的CT图像,因为早期的CT切片间距比较大,单张图像分辨率也不高。其主要步骤可分为:二维CT切片上轮廓线提取;相邻切片轮廓线对应并构造多边形面片。将所有轮廓线利用多边形面片拼接在一起后就可以得到一个三维面模型。但是对于一个切片上存在多个轮廓线时处理比较复杂,尤其是对轮廓复杂的组织器官(如人脑)重建是很困难的。

{ 58% : 随着CT、MRI技术的进步, }切片间距大大缩小,同时图像分辨率也得到很大提升,基于体素等值面提取的方法应用越来越多。{ 61% : 主要有移动立方体法(Marching Cubes,MC)、Cuberille法和Dividing Cubes法,最为经典、使用最多的当属MC算法。 }

{ 58% : 人体器官或组织都有不同的特性, } { 55% : 在CT灰度图像上就表现在灰度值的不同, }利用灰度值就可以区分出一种器官或组织,将一种器官或组织边缘上的灰度值设为阈值,将体数据中与该阈值相等的点都提取出来,这些点就在相应器官或组织的表面上,利用多边形面片连接起来就组成了其表面模型。移动立方体法就是在体数据构成的体素中根据设定的阈值提取出等值面(将提取出来的点利用Delaunay三角剖分法获得)从而构建对象的表面模型。

1.体素

这里的体素是指相邻的8个采样点包围的中间区域,针对移动立方体中使用的CT图像的体素示例如图2.2所示法, i, j 分别代表断层平面内两个方向的采样坐标, k 代表断层的采样坐标,假设图像空间(CT图像序列组成的体数据空间)中一点为在三个方向上的采样间隔为 Δ 则这一点的采样坐标。

图2.2 体素示意图

这里将体素内一点所具有的属性(这里是指图像灰度值)定义为此点的体素值,用 v 表示。假设在体素内有任意一点,如图2.3所示,其体素值可以通过三线性插值得,如式2-1。

图2.3 体素内任意一点体素值三线性插值模型

(2-1)

上式中用到的 p_0 、 p_1 、 p_2 、 p_3 的体素值依据相同的方法利用体素八个交点的体素值线性插值求出。

2.等值面

{89% : 等值面是指空间中的一个曲面,在该曲面上函数 $f(x, y, z)$ 的值等于某一给定值 C 作为阈值, } {86% : 即等值面是由所有点 $S = \{(x, y, z): f(x, y, z) = C, C \text{是固定值}\}$ 组成的一个曲面。 }由前面的介绍可知我们可以获取体数据所在空间中任意一点的体素值,此处 C 选择目标器官或组织边界的灰度值,从体素中就可以找到灰度值与 C 相等的点,用这些点构建三角形面片近似表示等值面(真实的等值面是曲面),将所有的近似等值面组合在一起就构建了目标器官或组织的三维面模型。

3.移动立方体(MC)算法

MC算法实际就是提取等值面法,其输入的数据是排好序的一系列的CT或MRI等类型的切片图像,其步骤可以归结如下:

第一步:先读入前两张切片图像作为第一层,以后每个循环读入相邻的下一张切片图,跟相邻的上一张图一起作

为下一层。

第二步:每一层的上下切片中相邻的八个采样点(一般为切片中的像素点,也有可能需要重采样)构成一个立方体,该立方体即为一个体素,如图2.2所示。

第三步:{ 56% : 按照一定的法则遍历一层中所有的体素, }根据阈值与体素角点的体素值关系判断每个体素中是否存在等值面,如果存在就构建等值面。处理完这一层后,返回到第一步读入下一张图片按相同方法处理,直到处理完所有切片图像。

体素内部构建等值面

(1)判断一个体素内是否存在等值面

这只需要两个已知条件即可判断,一个是体素8个角点的灰度值,另一个是阈值,前者通过查询采样点的像素灰度值得到,后者是预先设置的。只要8个角点中灰度既有大于阈值的也有小于阈值的,则体素内必存在等值面,否则不存在。

(2)等值面在一个体素中的分布情况

因为体素的每个角点灰度值与阈值的关系都有三种可能,所以体素内等值面的分布会有种,因为角点与阈值相等时等值点就是角点,是利用线性插值法计算边上等值点的一个特例,所以可以只考虑每个角点灰度值比阈值大或小的两种情况,将相等的情况归于大于的情况(小于的情况),这时体素内等值面的分布会有种,{ 63% : 再根据立方体旋转不影响等值面拓扑结构, }角点灰度值大于阈值的情况与小于的情况完全对换也不影响等值面拓扑结构,所以可以将体素内等值面的分布情况简化为如图2.4所示的15种,图中红色角点表示灰度值小于阈值,蓝色表示大于。根据体素角点灰度值与阈值的大小关系可以转化为图中的一种,根据图中所示求等值点并进行连接形成近似等值面。

(3)求取等值面的法向量

我们知道在计算机图形学中恰当地使用光照可以增强模型的真实感,但为了计算光照效果需要提供面片的法向量或组成面片的顶点的法向量。所以为了使用光照增强建立的模型的渲染效果,我们还需计算等值面顶点(等值点)的法向量。

等值点的坐标和法向量都使用其所在体素的边的端点的相应值通过线性插值得到。体素角点的坐标是已知的,角点法向量可通过式2-2求得。

图2.4 体素内等值面的分布情况

(2-2)

等值点的相应坐标和法向量可通过式(2-3)求得。

(2-3)

其中代表等值点的相应量(坐标或法向量),{ 55% : 代表端点的相应量,代表端点的灰度值,代表等值点的灰度值。 }这里假设在边上灰度值是线性变化的。

2.2.2 体绘制三维重建法

相对于面绘制法仅提取了对象的表面信息,体绘制法可以同时绘制表面和内部结构,{ 59% : 配合使用恰当的光照和不同器官组织赋予不同的颜色和不透明度, } { 57% : 可以精细的表现出器官组织的外形和相互之间的层次关系, }为我们提供更多的信息,同时体绘制中没有了面片的构建。{ 75% : 光线投射法是体绘制中最为常用和经典的算法, }当然还有其他常用方法如错切变形法、基于纹理映射、基于小波的方法[44]。

下面我们重点介绍一下光线投射法。

1.光线投射法的原理

光线投射法的原理如图2.5所示,它利用了视觉成像原理,主要步骤分为数据预处理,数据值分类,采样点属性值计算,图像合成几个步骤得到最终的屏幕像素集合,从而显示出对象的三维组织模型。数据预处理与上文图2.1中所示预处理内容相同,下面详细解释后面的几个步骤。

2.数据值分类

因为体绘制方法表现的信息很丰富,可以表现出多种不同的器官、组织形状,如果所有的器官和组织依然用不同的灰度来表示会使它们的区分度不高,如果将它们赋予不同的颜色(伪彩色)和不同的不透明度(根据人体组织从外到内--皮肤、肌肉、器官组织,透明度减小)体绘制得出的效果能够更清晰的区分器官组织和体现它们的层次关系。

上文中我们提到人体器官或组织都有不同的特性,{ 55% : 在CT灰度图像上就表现在灰度值的不同, }如图2.6所

示,利用灰度值就可以区分出一种器官或组织,{ 62% : 根据这一点我们将体数据分类然后赋予相应的颜色和不透明度。 }

体数据分类就是依据灰度值的大小将数据总体分成多个互不重叠的子集合,如式2-4所示。代表数据总体,代表子集合。

(2-4)

针对不同器官或组织灰度值范围比较稳定的体数据,常用的分类方法有阈值法和概率法。

阈值法:CT图中每种器官或组织灰度值都有个变化范围,选择其上下界作为阈值。灰度值介于这两个阈值之间的数据一般就属于同一种器官或组织,根据这一点对数据分类。

图2.5 光线投射体绘制法原理流程图

图2.6 CT图像

概率法:人体器官或组织是由多种物质组成的,同一种器官或组织其物质组成和每种物质所占比例是固定的,表现在CT图像就是同一种器官或组织的灰度值组成和所占比例是固定的。根据相关概率知识和图像灰度值统计我们可以得到一个体素中一种灰度值的概率,从而可以获取每个体素中不同灰度值的比例,将灰度值分布情况类似的体素归为一类。

两种方法相比,阈值法相对比较简单。

3.数据点颜色和不透明度赋值

根据上面的数据分类及每类数据对应的组织类型赋予合理的颜色和不透明度,一般情况下皮肤赋予浅一些的颜色,透明度较高,肌肉颜色较深、透明度略低,骨骼颜色为灰白色,透明度略低,空隙设置为完全透明,设置的依据就是尽量符合人体实际情况和便于观察分析。

4.光照计算

为了使重建的模型效果更精致,真实感更强,加入光照计算,所以需要数据点的法向量,{ 59% : 采样点的法向量通过线性插值求取。 }这里使用各数据点的梯度来近似其法向量,梯度采用中心差分法求取,如2.2.1中的式(2-2)。有了法向量就可以求取加入光照后的数据点的颜色。

5.光线投射采样计算

{ 55% : 其原理是从屏幕的每个像素发出一条射线,沿视线方向穿越整个体数据场, }从屏幕像素开始每间隔一定的距离取一个采样点,间隔是根据采样精度来调整的,{ 61% : 利用采样点所在的体素的8个角点通过线性插值方法计算其颜色和不透明度, }方法同2.2.1中式(2-1)。光线投射采样的原理如图2.7所示。

图2.7 光线投射采样

6.图像合成

光线投射采样后需要根据采样点的颜色和不透明度进行合成,得到屏幕像素的颜色,合成的方法有向前合成和向后合成两种。

(1)向前合成方法

此方法是从距离屏幕最远的采样点开始,逆着射线方向来进行合成。为了描述合成原理我们首先设置如下变量,分别表示当前采样点的颜色分量,{ 57% : 不透明度分量和上一采样点的颜色分量,不透明度分量。 }二者合成为一个颜色分量作为下一个采样点的,用相同的方法继续合成,直到与第一个采样点合成完毕。合成公式如式(2-5)

(2-5)

设从距离屏幕最远的采样点开始,逆着射线方向的第*i*个采样点的颜色分量为,不透明度为,记。则合成后屏幕像素的颜色分量值为,根据式(2-5)可得递推式(2-6)

(2-6)

(2)向后的合成方法

此方法是从距离屏幕最近的采样点开始,沿着射线方向来进行合成,合成方法类上。但其有个优点,当遇到不透明度为1或接近于1的采样点后合成结束,因为后面的采样点相当于被遮挡住了,不必计算了,这样可以减少计算量,所以此合成法比较常用。

当所有射线上的采样点合成得到屏幕上的像素后,呈现在我们眼前的就是一个信息丰富的具有立体感的模型图像。

2.3 利用三维建模软件绘制法

{ 56% : 这种方法是指利用三维制作软件(如3ds Max,Maya,Blender等)通过虚拟三维空间构建出具有三维数据的模型。 } {100% : 3D建模大概可分为:NURBS和多边形网格。 } {100% : NURBS对要求精细、弹性与复杂的模型有较好的应用,适合量化生产用途。 } {100% : 多边形网格建模是靠拉面方式,适合做效果图与复杂场景动画。 } {100% : 综合说来各有长处。 }

以3dsMax建模软件建立一个心脏模型为例简单介绍一下建模过程[[[]唐闻. 制作心脏模型的三维模型的过程和方法[J]. 科技信息(学术研究),2008,{ 62% : 32:693-694. }]]。 }

(1)首先参照相关图片或实体绘制出心脏的6个方向的位图,{ 59% : 位图大小为900x900像素, }如图2.8所示。

图2.8 心脏6个方向的位图

(2)将上述位图导入到建模软件中,如图2.9

图2.9 将位图导入软件

(3)将模型分解成多个部分分别来建立,下面只介绍建立模型中的一部分。

{ 61% : 首先建立一个最简单的Box对象, }利用polygones选项中的metafrom结合手动操作不断修正Box对象使其与导入的三个方向上的位图主体相吻合。如图2.10所示。

(a) (b)

图2.10 建立心脏主体

(4)利用圆弧编辑、节点编辑、metafrom等选项,对应导入的6个位图制作动静脉血管模型,如图2.11。

图2.11 心脏动脉

(5)将得到的主体和动静脉组合得到心脏A部分,如图2.12。

(6)其他部分的建立步骤也是类似的,分部分建立好后组合得到心脏的总体模型,如图2.13。

图2.12 心脏A部分 图2.13 心脏模型

2.4 软体几何模型的建立

因为采用医学图像进行三维重建获得的模型相比采用建模软件建立的模型更精细,有医学基础,所以本文拟采用医学图像三维重建法建立几何模型。

{ 77% : 现在国外已经有了很多成熟的医学图像三维可视化系统,如加拿大的Allegro系统, } { 75% : 美国Stardent公司的AVS系统, }法国TGS公司的Amira系统等,同时也有很多类似VTK、VIK、ITK等的开源工具[[[] 何晓乾.{95% : 医学图像三维重建技术研究[D].电子科技大学, }2006: 5页]]. 本文拟利用Amria系统建立三维几何模型。

2.4.1 Amira工具软件

{ 60% : Amira是法国TGS公司开发的功能强大、多用途的工具软件,主要用于数据可视化及建模。 } { 68% : 其主要集成了四个方面的功能:处理和重构功能--利用各种数字过滤器及交互编辑器来处理图像,然后对图像内的组织或区域进行重构; } { 59% : 可视化和探索--可以通过裁剪和配色来交互式探索体数据; }分析和量化--可以进行距离、角度、面积、体积的测量,多种属性的数据统计分析;{ 76% : 展示和教学--可以创建基于时间轴的交互式立体或非立体演示动画。 }本文主要借助它的处理和重构功能,利用一系列的CT图像重建出所需对象的几何表面模型。

{ 58% : Amira的用户界面如图2. }14所示,主要分为四个区块[[[] Guide A U.{ 68% : Reference Manual as well as Amira Programmer' s Guide. } { 68% : Konrad-Zuse-Zentrum fur Informationstechnik Berlin (ZIB) and Indeed-Visual Concepts GmbH, } Berlin[J]. 2001.]]:

(1)三维图形显示器,{ 65% : 用于显示输入的CT图和可视化结果; }

(2)对象池(object pool),用于显示数据对象和模块;

(3)工作区,用于显示当前模块的参数;

(4)控制台,{ 68% : 用于系统信息显示和Tcl命令输入。 }

图2.14 Amira软件用户界面

2.4.2 利用Amira软件建立几何模型

其基本流程如图2.15所示

图2.15 Amria三维重建流程

1.图像预处理

本文拟建立人体肝脏模型作为系统实验的软体对象,CT图像选用美国国立医学图书馆“可视人计划”中的腹部部分切片图像,因为切片间距只有1mm,切片图像太多,为减小重建难度,我们等间隔选用其中的包含肝脏部分的200张。总的数量大小为体素,其中只有肝脏部分是我们所需要的,为了减小数据量,我们对图像进行裁剪只保留需要的部分。裁剪前后对比如图2.16。

(a) 剪裁前2048×1216×200体素 (b) 剪裁后619×635×200体素

图2.16 剪裁前后数据量对比

2.图像导入

{ 68% : 通过Amira软件的File/Load菜单将图像全部导入, }调整参数后自动生成Amira适用的.am数据格式文件。导入后对象池中会显示其图标。

3.图像分割及平滑

{ 57% : 这一步是三维重建的基础。 }分割的质量和速度都很重要,现在分割的方法有手动分割和自动分割,在图像中我们可以看到肝脏组织与周边组织对比度不高,边界模糊,其他微细结构又对其有影响,使用自动分割很困难,而如果手动分割工作量又太大[[[] 薛艳青,{90% : 杨春兰,高宏建,卢旺盛,吴水才. }{ 77% : 利用Amira进行帕金森病靶点核团的分割及三维重建[J]. 医疗卫生装备, }2012,08:1-3.]]。所以我们采用二者结合的方法,取一个合适的间隔值将图片分组,间隔处采用手动分割,然后利用Amira的自动插值方法分割间隔之间的图片。分割后检查一遍,分割不好的地方手动修正,同时为每张图像作上标签。利用“smooth label”对边界做光滑处理,“remove islands”去除孤岛,增强分割效果。分割后并进行填充后的效果如图2.17。

图2.17 肝脏分割效果

4.三维重构

{ 64% : 使用移动立方体法构建肝脏面模型, }并对其进行表面光滑处理。

5.模型导出

因为Amira导出的模型格式不能直接用于我们的系统,所以我们利用3ds Max软件先进行一下全局坐标调整,然后将其导出为.3ds格式文件以方便导入本文系统。重建的肝脏模型如图2.18。

图2.18 三维重建得到的肝脏面模型

2.5 本章小结

本章介绍了虚拟手术系统中所需的器官的几何模型的构建方法,并建立了本文需要用到的胃面模型,是本文的基础章节。本章介绍了几何建模的分类,把利用医学图像进行三维重建作为本章的重点,详细介绍了面绘制中经典算法移动立方体算法的原理和体绘制中的经典算法光线投射法的原理,同时以心脏模型为例大体介绍了利用三维建模软件3ds Max建立几何模型的过程,最后利用成熟的医学三维重建软件Amira建立了本文的虚拟手术对象--胃。

第3章 虚拟手术仿真中软体的物理建模方法

3.1 引言

虚拟手术仿真系统中使用的软体模型是一个复合模型,{ 62% : 由几何模型和物理模型构成, }几何模型描述了对对象的几何特征,用于绘制,提供视觉反馈,物理模型利用了对对象的一些物理力学特性和规律,用于形变模拟,形变的结果反映到几何模型上进行模型重绘。几何模型和物理模型共同组成了软体组织形变的基础,在上一章我们介绍了软体的几何模型建立方法,本章重点介绍其物理建模方法,{ 59% : 首先简单介绍常用的质点-弹簧模型,有限元模型, }然后详细阐述用于本文物理建模方法--基于形状匹配的无网格方法。

3.2 软体物理建模方法概述

软体物理建模的基本思想是将连续空间的问题转化为离散空间的问题进行简化,现有的物理建模方法主要有基于网格的和基于无网格的。基于网格的主要有质点-弹簧模型,有限元模型、边界元模型等;基于无网格的主要有SPH(光滑粒子流体动力学)方法、无单元伽辽金方法(EFG)、DEM(Diffuse Element Method)方法、有限球方法、配点法、形状匹配方法等,这些方法在实时性、稳定性、仿真逼真度方面各有不同表现。

现在使用最多的方法是基于有网格的,研究最多,应用最为广泛的模型是质点-弹簧模型和有限元模型(FEM)。

质点-弹簧模型,它把仿真对象离散化为质点集合,质点间用弹簧连接,{ 57% : 质点受到弹力、阻尼力、重力、外力等的作用, }根据质点平衡方程和牛顿第二运动定律求取每个质点的位移信息,将位移信息反馈给渲染模块进行重新渲染从而得到软体的变形效果。此法模型构建简单,耗费计算资源少,不需要连续参数化;但是其变形精度和稳定性不足,适用于实时性要求高、精度要求一般、可能存在大变形的环境中。

{ 64% : 有限元方法(Finite Element Method,FEM)是求解弹性力学问题的经典方法, }它的基本思想是将连续的求解离散化为一个个小的单元上的求解,{ 75% : 通过简单的插值函数表示全域上的复杂函数, }这些单元按一定方式联系在一起,{97% : 每段交界处满足某些连续性条件。}它模拟变形精度高,是其他方法很难比拟的。但其计算量庞大,实时性不佳;处理拓扑逻辑结构变化困难,适用于变形精度要求严格、实时性要求不高、局部小范围内变形的环境。

随着有网格发展的同时,无网格方法也开始引入到虚拟手术仿真系统中,它克服了由于网格存在的缺陷,{ 77% : 适用于大变形,高阶连续性插值和自适应求解的情况。}常见的有无单元伽辽金方法(EFG)、SPH(光滑粒子流体动力学)方法,还有上述方法跟基于网格的方法结合的方法等。{ 55% : 但其都存在算法复杂,实时性不高的问题。}本文将形状匹配方法和无网格相结合应用到软体的物理建模中,实现一种综合性能比较好,即精确度可以在视觉上可以接受,简单易实现、实时性强、无条件稳定、多用途、可用于大规模、大变形动态仿真中的算法。

3.3 基于网格的常用软体物理建模方法

基于网格的最常用软体物理建模方法我们已经很熟悉了,即质点-弹簧模型和有限元模型还有它们相应的改进或者两种方法的结合。{ 64% : 下面我们分别介绍一下它们。 }

3.3.1 质点-弹簧模型

1.基本的质点弹簧模型

质点-弹簧模型分为面模型和体模型两种,对应的也都有很多种拓扑形式,{ 59% : 最简单的拓扑结构如图3.1所示。}一个对象可以表示为相互间通过虚拟弹簧连接的质点集合,一个质点上连接的弹簧数量由其在模型中所处的位置有关。

(a)面模型 (b)体模型

图3.1 质点-弹簧模型拓扑结构

{ 55% : 质点之间的连接弹簧一般有三种类型,结构弹簧、扭曲弹簧和拉伸弹簧,如图3.2所示。 }

图 3.2 质点间连接弹簧分类

这种形式的质点-弹簧模型多用于布料变形仿真中,结构弹簧连接相邻的质点,用于固定布料结构;{ 57% : 扭曲弹簧连接对角线方向上的相邻质点,用于防止布料扭曲变形; }拉伸弹簧连接间隔质点,用于圆滑布料折叠边。

在动态仿真系统中为了保证系统的稳定性和减少系统达到新平衡状态所需的时间,一般都加入适当的阻尼力,{ 69% : 通常使用的带阻尼弹簧模型有Maxwell模型和Kelvin模型, }如图3.3所示,为计算简单起见一般选用Kelvin模型。

(a)Maxwell模型 (b)Kelvin模型

图 3.3 带阻尼弹簧模型

下面对质点-弹簧模型进行分析。一个对象离散化为了质点集合,如果想知道对象在某一时刻的运动情况,只需知道每个质点对应时刻的位移和速度即可。以质点*i*在*t*时刻为例对其做运动分析,根据牛顿运动第二定律要先求出质点*i*受到的合力,可由质点*i*受到的内力(与之相连的弹簧的弹性力、阻尼力)和外力(重力、用户施加的力)进行合成得到,如式3-1所示。

(3-1)

假设与之相邻的质点为*j*,则*j*施加给*i*的弹性力、阻尼力合力为:

(3-2)

参数的含义:代表弹簧刚度系数,{ 60% : 表示质点*i*与质点*j*的位置差(向量),表示弹簧初始长度, }表示阻尼系数,{ 69% : 表示质点*j*的速度,表示质点*i*的速度。 }

则为:

(3-3)

易求,所以利用(3-1)式求出*i*质点受到的合力。

根据牛顿第二定律:

(3-4)

利用积分可求出质点在下一时间步的速度和位置,这里采用的是显示积分,关于积分方法会在3.4中讨论。

(3-5)

通过以上所述原理在每一时间步求出每一质点的速度和位置就可以得到对象整体的运动状态。

2.质点-弹簧模型的相关改进

{ 64% : 鲍春波等人[[[] 鲍春波,王博亮,刘卓,程明. } {84% : 一种用于软组织变形仿真的动态质点弹簧模型[J]. 系统仿真学报,2006,04: }847-851+855.]}在基本质点-弹簧模型基础上加入了体弹簧,从而使用面模型就可以在一定程度上模拟出软体的立体形变感觉,同时,使用多层次模型,在受力变形局部区域使用精细模型,提高形变精确度的同时保持了仿真系统的实时性。

在质点-弹簧模型中,拓扑结构可以说是最重要的,拓扑结构决定了质点之间的受力情况,从而决定了质点的运动,影响对象变形是否合理,是否能真实模拟软体的变形。{ 57% : 鲍春波等人在基本质点-弹簧模型的基础上加入了“虚拟体弹簧”,}如图3.4所示。体弹簧是加在模型中的每个质点上的,其初始位置作为弹簧的一端,当质点收到力的作用离开初始位置,到达的新位置作为弹簧的另一端,如图中黑色点与空心点之间的连接弹簧即为体弹簧,其初始长度为0,初始变形量为0。

图3.4 加入“虚拟体弹簧”后的质点-弹簧模型

“虚拟体弹簧”提供一个约束力:

(3-6)

参数含义:{ 63% : 、分别为体弹簧的弹性系数和阻尼系数。 }、分别为某一时刻相应质点的离开初始位置的距离向量和速度向量。

加入体弹簧后由于体积力的存在,{ 68% : 避免了使用基础的质点-弹簧模型时, }力作用于某一质点时,局部区域变形过大,同时撤销力后变形不能恢复的失真情况,如图3.5,增强了仿真的逼真度,如图3.6。

(a)施加力 (b)撤销力

图3.5 使用基础质点-弹簧模型时的软体变形

(a)施加力 (b)撤销力

图3.6 加入“虚拟体弹簧”后的软体变形

3.3.2 有限元模型

{100% : 有限元分析是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。 } {100% : 它将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成,对每一单元假定一个合适的(较简单的)近似解,然后推导求解这个域总的满足条件(如结构的平衡条件),从而得到问题的解。 }

{95% : 对于不同物理性质和数学模型的问题,有限元求解法的基本步骤是相同的,只是具体公式推导和运算求解不同。 } {100% : 有限元求解问题的基本步骤通常为: }

{97% : (1)问题及求解域定义:根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几何区域。 }

{97% : (2)求解域离散化:将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组成的离散域。 }

{98% : (3)确定状态变量及控制方法:一个具体的物理问题通常可以用一组包含问题状态变量边界条件的微分方程式表示,为适合有限元求解,通常将微分方程化为等价的泛函形式。 }

{99% : (4)单元推导:对单元构造一个适合的近似解,即推导有限单元的列式,其中包括选择合理的单元坐标系,建立单元试函数,以某种方法给出单元各状态变量的离散关系,从而形成单元矩阵(结构力学中称刚度阵或柔度阵)。 }

{98% : (5)总装求解:将单元总装形成离散域的总矩阵方程(联合方程组),反映对近似求解域的离散域的要求,即单元函数的连续性要满足一定的连续条件。 } {100% : 总装是在相邻单元结点进行,状态变量及其导数(可能的话)连续性建立在结点处。 }

{97% : (6)联立方程组求解和结果解释:有限元法最终导致联立方程组。 } {100% : 联立方程组的求解可用直接法、迭代法和随机法。 } {100% : 求解结果是单元结点处状态变量的近似值。 }

{100% : 简言之,有限元分析可分成三个阶段,前置处理、计算求解和后置处理。 } {98% : 前置处理是建立有限

元模型,完成单元网格划分;后置处理则是采集处理分析结果。 }

以平面三角形(图3.7)为例做有限元分析简要介绍有限元法[[[] 储丽丽. 基于有限元分析和质点弹簧模型的软组织形变仿真研究[D].哈尔滨工业大学,2014:11-14页]]。

图3.7 平面三角形有限元模型

如图3.7所示,标记三个节点的位置坐标为,位移为。

现将节点位移和所受的外力分别组织成列向量形式,记为和,如式(3-7)。

(3-7)

为单元选取一次线性位移模式:

(3-8)

所以在三个节点处应该满足:

(3-9)

把式(3-9)代入(3-8)可得6个方程,从而可以求出(3-8)中的6个系数,根据求得的系数可以写出位移函数,物理方程,几何方程,根据式(3-10)可求出单元刚度矩阵。

(3-10)

由使(3-8)和(3-9)可知,位移函数系数只与三角形三个节点的坐标有关系,求出的值为常数,因此单元内任意位置的应力与应变也均为常数,因而称平面三角形单元为常应变(应力)单元。

3.4 基于形状匹配的无网格方法

基于网格的方法研究的很多也相对成熟,但由于网格的存在使其存在固有缺陷。基于网格的方法都要进行网格划分,这是一个耗时且复杂的步骤,划分得到的网格的质量直接影响组织变形仿真效果;当组织变形过大或被切割时,拓扑结构发生变化,网格需要重新划分;对于虚拟手术中像血液等流体的模拟基于网格的模型也无能为力。此时,无网格方法应运而生。{ 71% : 下面重点论述基于形状匹配的无网格法[[[] Müller M, Heidelberger B, Teschner M, } et al. Meshless deformations based on shape matching[C].ACM Transactions on Graphics (TOG). ACM, 2005, 24(3): 471-478.]]建立软体物理模型的理论。

3.4.1 算法基本原理

其核心思想是利用粒子的几何约束、当前位置与目标位置间距分别代换实际中的能量、力。粒子的目标位置通过其初始位置匹配受外界作用变动后的位置(当前位置)来求得。

类似于质点-弹簧方法,需要将对象离散化为一系列的质点,形成一个集合。质点之间不需要连接信息,每个质点有单独的质量,可以受外力、重力、阻尼的作用。

此方法是基于前人提出的形状匹配方法[[[] Shoemake K,{ 56% : Duff T. Matrix animation and polar decomposition[C]//Proceedings of the conference on Graphics interface. 1992, } 92(1992): 258-264.]],标准的形状匹配方法重点关心如何建立两形状间的对应关系,但在我们的这个应用环境中形状对应关系是已知的,我们需要做的是根据已知的对应关系在三维空间中求解出前后两个点云间基于最小二乘法的最佳刚性变换。

{ 58% : 其原理很简单,如图3.8所示, }分为两步,第一步,根据质点初始位置与外界因素作用下当前位置,求得最优变换矩阵(这个过程就是形状匹配),然后利用初始位置和变换矩阵就可以求出目标位置;第二步,会被拉向,使其运动到目标位置。

图3.8 原理图

算法需要的输入很简单,只需要质点的质量和初始位置,不需要任何的连接信息或者网格信息。物体被模拟为粒子之间没有联系的简单粒子系统。对于这里的形状匹配问题,{ 56% : 粒子之间的对应关系是已知的, }只需要用初始位置匹配受外力改变后的位置求出最优旋转矩阵R和平移向量和,就可以求出对象的目标位置。给定两组点云初始位置和变形后的位置,如图3.8所示,使式(3-11)取得最小值的即为所求。

(3-11)

式中和分别是粒子的初始位置和当前变形位置,是每个粒子的权重,通常选择粒子的质量作为权重,即。这个公式的含义就是在一个物体中抽取部分粒子形成一个集合,粒子集合从初始位置经旋转、平移后到达一个新位置,使新位置与实际的粒子集合位置的误差最小的旋转矩阵和平移矩阵作为此物体从初始位置到达现在位置(目标位置)的变换,从而可以求出物体现在的整体位置,这类似于概率统计中的抽样统计总体分布的思想。

容易求得满足条件的为:

(3-12)

即是初始位置下粒子集合的质心,是位置改变后粒子集合的质心。

{ 63% : 下面来求最优旋转矩阵R。 }设变量,求最优旋转变换R可转化为求最优线性变换矩阵A,(3-11)式可化为(3-13)式。

(3-13)

式(3-13)对A求偏导,并令 A 的所有偏导系数都为 0,可求得A,如(3-14)式。

(3-14)

(3-14)中是一个对称矩阵,只包含缩放而没有旋转。{ 59% : 因此最优旋转矩阵R就是的旋转部分, }它可以通过对极分解来求得,其中,是对称部分,旋转部分。最后,每个粒子的目标位置就可以通过式(3-15)求得。

(3-15)

3.4.2 数值积分

1.显式积分

为了计算物体在每一时刻的位置,需要对物体的速度和位置进行数值积分。稳定性和效率是数值积分需要考虑的两个重要问题。显式积分计算速度快,但不稳定,隐式积分虽然无条件稳定,但计算复杂。下面通过一个质点-弹簧系统的例子来说明显式积分方法存在的问题。

图3.9 线性质点-弹簧系统

如图3.9所示是一个线性无阻尼质点-弹簧系统,弹簧静止长度为,弹簧刚度系数为。弹簧连接着两个点,一点固定在原点,另一点可自由移动,质量为m,位于x(t)。自由点将受到大小为的力向平衡位置运动。

对上述系统进行欧拉积分,如式(3-16)

(3-16)

质点速度通过显式欧拉积分步得到,位移利用先求出的速度通过隐式积分步得到。设状态向量为,由公式(3-16)可导出系统矩阵为

(3-17)

经过计算可得其特征值为

(3-18)

A表示一个离散系统,A的谱半径(特征值、模值大者)只有不大于1才能保证系统是稳定的。当时特征值模值趋于1,然而,特征值的模值只有当时才会小于1。如果积分时间步选取的较大,系统可能就不稳定。所以说上述积分式是有条件稳定的。

{ 59% : 为进一步说明系统的不稳定性, }假设来执行一个积分步。则下一积分步与当前积分步的位移差为。如果积分步h或者弹簧刚度系数过大,或者质点的质量m过小,都会导致质点会越过平衡位置,并且继续向前运动,还可能运动到比前一时间步还大的位置(如图3.9中下部的图所示)。这样的话系统的能量就错误的增加了,在后续的时间步这一情况会持续,使系统能量不断增加,从而使系统不稳定。

显示积分式的不稳定性的原因可以描述如下:弹力是弹性势能的负梯度,所以弹力的方向始终指向平衡位置。然而,显示积分式通过计算点与平衡位置的距离然后根据胡克定律盲目地计算弹力的大小,从而导致质点可能越过平衡位置很大距离,造成系统变形和能量的错误增加,从而导致系统不稳定。而系统稳定的前提是系统的能量保持守恒或是不断衰减。

解决这个问题的一种方案是钳制质点的位移使之不会越过平衡位置或目标位置。在简单的一维情况下,如上述的质点-弹簧系统,目标位置可以比较简单的确定即。然而,对于更常见的情况,像有限单元的实体或者复杂的几何网格,内部点的目标位置确定起来就没那么容易了。在这里将采用新的方法来解决这一问题。

2.改进积分

用(3-15)式计算得出的目标位置构造如(3-19)式的积分方程。

(3-19)

式中是模拟物体刚度的参数,与显示欧拉法积分方程(3-16)对比可知,二者的差别在于对待内部弹力的方法。对于,项被加到质点的速度项上,从而被直接增加到位移项上,使得质点直接移动到目标位置;对于,质点将逐渐向

着目标位置移动。

对于图3.9中显示的一维弹簧例子,将(3-19)式写成状态方程的形式如式(3-20)

(3-20)

则系统矩阵为,其特征值为。二者的最大模值均

为1,与无关。这说明此积分式是无条件稳定的,并且未引入阻尼。这同样适用于无外力作用的一般三维实体的情况。物体受到的外力只要与质点所在位置无关(如重力),或者作用时间很短(如碰撞力),则系统矩阵就不会改变,系统也是稳定的。

积分式中的一些变量,如质心和可以预计算,在每一时间步,都要计算和的逆阵,为了求的逆阵,先利用雅克比旋转矩阵对矩阵进行对角化,其中求取雅克比矩阵的时间复杂度是常量,与点的数量无关。上面描述的方法的基本形式适用于刚体和小变形对象的模拟,还不适用于大变形对象,下面对基本形式进行变形使其能适用软体的变形。

3.变换矩阵适应性变形

(1)线性变形

将(3-15)中求的旋转矩阵替换为,其中是小于1的控制参数。因为为求得的最小二乘意义上的初始形状匹配实际形状的最优线性变换矩阵,所以利用上述替换后,目标形状允许出现线性变形,从而可以模拟线性形变,同时由于的存在保证可以恢复到初始形状。为了保证变形后体积守恒,将除以,从而保证。

(2)二次变形

线性变换只能使对象表现出剪切和拉伸变形,为了使对象能进行扭曲和弯曲变形,构造二次变换矩阵。通过下面的式子定义二次变换矩阵

(3-21)

其中是线性项的系数,是完全二次项的系数,是复合项的系数。现在要使式(3-22)的值最小,

(3-22)

经计算得最优二次变换矩阵为

(3-23)

类似于前述的线性变形情况,利用代换原来的,其中。

利用改进后的积分式可以得到的线性和二次变形效果如图3.10。

(a)线性变形 (b)弯曲变形 (c)综合变形

图3.10 变换矩阵变形后的应用效果

(3)基于簇的变形

为了进一步扩展变形的幅度,可以将质点划分为簇,彼此之间存在交叠部分。对于体模型对象,将模型中的各个顶点作为质点,将与同一个单元(如四面体)相邻接的粒子作为一个簇。下面我们使用面模型,我们将面模型内部划分为彼此有重叠部分的立方体,将每个立方体包含的所有顶点作为一个簇。

在每个积分步,每个簇独立的用其自身的初始形状匹配其实际形状,然后将求出的变换矩阵和平移向量应用于这个簇中的所有质点。

4.实验结果

(1)基于簇的变形

图3.11显示了三个拥有60个质点但划分为不同数量簇的柱形体二次变形情况,三个图中划分的簇数依次为1,2,5,施加的力的位置、方向相同,从图中可看出划分的簇数越多,变形细节体现的越好,变形幅度越大。

(a)一个簇 (b)两个簇 (c)5个簇

图3.11 不同簇数对对象变形灵活性的影响

(2)计算性能

文中方法的效果主要取决于用于形状匹配的质点的数量和划分的簇数。为了说明这两个因素对方法效果的影响程度,做如下实验,我们把一定数量的质点的初始位置做个随机安排,然后将对应质点的目标位置也做随机安排,然后我们选取不同的质点数,不同的簇数,进行线性变形和二次变形实验。图3.12显示了实验结果, { 56% : 从图中可以看出不论采用哪种方案, } 计算复杂度与参与参与形状匹配的质点数都是呈线性关系。同时划分更

多的簇数,因为需要更多的极分解,所以计算代价会更大。此外,二次变形比线性变形复杂,计算代价也相应增加。在实验中,100个包含100个仿真质点,划分成8个簇的对象进行二次变形可以达到50fps。

图3.12 不同实验方案下参与形状匹配质点数与每一帧计算耗费时间关系

3.5 本章小结

本章主要对软体物理建模方法做了研究。{ 62% : 先对基于网格的质点-弹簧模型和有限元模型做了介绍, }然后重点对基于形状匹配的无网格方法做了阐述。虽然此模型是基于几何驱动而不是基于物理属性驱动的,但其在表现变形的逼真度方面的能力与现有的方法还是相当的。相对于现有方法,其不需要预处理,不需要额外的数据结构,不需要复杂的模型分解,不需要显示表示模型,也不需要保存模型中的很多向量,{ 63% : 从而使其时间复杂度和空间复杂度都较低,仿真效率很高; }同时算法针对任何的交互操作都具有无条件稳定性。现在的模型解决了弹性变形的问题,后续我们可以对算法扩展,将此方法扩展到塑性变形和断裂变形方面。

第4章 虚拟手术仿真中的碰撞检测算法

4.1 引言

虚拟手术系统要给人以真实感,就要在视觉和交互操作上做到当人控制手术器械接近操作对象时器械不能穿越组织,对对象做出提拉、按压、切割、缝合操作时组织要立即做出相应反应,这就需要有一种方法来判断器械与组织是否接触,这就是碰撞检测算法要做的事情。碰撞检测在虚拟手术系统中主要完成手术器械与软体之间,{ 57% : 软体自身之间的碰撞检测,判断对象间是否碰撞, }如果碰撞提供碰撞的位置坐标、碰撞方向、速度、深度等信息,是系统中人机交互的基础。{ 62% : 碰撞检测的准确性与实时性是其关键指标。 }涉及软体的碰撞检测不同于刚体与刚体间的碰撞检测,因为软体本身结构复杂,{ 64% : 在外力作用下会发生变形,甚至拓扑结构的改变, }这都增加了软体碰撞检测的难度[[[] 魏迎梅,王涌,吴泉源,石教英.{97% : 刚体在软体对象环境中的碰撞检测的研究[J]. 计算机学报,2001, }08:802-808.]]。

4.2 碰撞检测算法概述

碰撞检测流程一般可以划分为两个阶段,{ 70% : 预处理阶段和实时检测阶段, }{ 63% : 实时检测阶段又可分为预检测阶段和详细检测阶段。 }

预处理阶段主要是根据不同的应用环境选择适当的碰撞检测方法对待检测对象建立相应的数据结构。实时检测阶段执行检测任务,预检测阶段的主要任务是排除整个场景中不可能发生碰撞的区域或对象,逐步缩小进行检测的范围,减轻详细检测阶段的任务,提升碰撞检测的时间性能。详细检测在预检测的基础上进行,{ 68% : 其任务是进行基本图元间的碰撞测试, }求取碰撞的位置、深度等具体信息,{ 55% : 碰撞检测的流程如图4.1。 }

图4.1 碰撞检测流程

假设虚拟场景中所有对象的总的基本图元数为 N ,为了判断对象间是否发生碰撞或对象是否存在自碰撞,如果采用两两基本图元间进行检测,则需要判断的次数为 $N(N-1)/2$,则时间复杂度为 $O(N^2)$,在实时性要求较高的虚拟手术系统中这肯定满足不了要求。{ 67% : 为了提高碰撞检测的实时性主要有两种方案, }一是减少需要测试的基本图元的数量,{ 60% : 二是提高基本图元间碰撞检测的效率。 }

层次包围盒树是减少参加测试的基本图元数量的一种常用方法,而单一的层次包围盒树在实时性与精确性两大性能指标上难以达到比较好的平衡,不同的包围盒有不同的特性,综合它们的优点,本文使用使用复合层次包围盒树来提高碰撞检测的总体性能。

同时,在提高基本图元间碰撞检测的精度与效率方面,本文对于海燕等人提出的一种基于投影降维的三角形与三角形之间的碰撞检测方法进行了改进和应用。

4.3 基本包围盒

包围盒是指形状简单体积略大用于包围目标对象的几何体,层次包围盒树的基本思想就是利用大包围盒包围整个对象,然后逐步细分对象用相应包围盒包围,直到对象细分到一定程度或到达基本图元,包围盒组织成树形结构,通过简单几何体间的碰撞检测排除不相交对象,同时缩小检测范围,最终利用叶子节点包围盒的碰撞检测结果代替目标对象间的碰撞结果或者对双方叶子节点包围盒内部的基本图元进行相交测试以求取精确碰撞结果。对于层次包围盒树,包围盒的选择非常关键,因为不同的包围盒具有不同的特点,适用于不同的碰撞环境。

{ 58% : 常用的包围盒如图4.2所示。 }

(a)Sphere (b)AABB (c)OBB (d)k-DOP

图4.2 包围盒类型

(1)包围球

包围球(Sphere)是能包围目标对象的体积最小的球体,{ 68% : 其优点是构造和相交测试都很简单, }{ 58% :

相交测试只需计算两球心距离跟两球半径和的关系即可, }对于相距较远彼此分离的对象,进行分离排除实时性很高;{81% : 当对象发生旋转运动时,包围球不需要更新; }但其包围紧密性较差,{82% : 因为除了在3 个坐标轴上分布得比较均匀的几何体外, 几乎都会留下较大的空隙, 对于相距较近的对象进行碰撞检测实时性不佳,需要花费大量的预处理时间, 以构造一个好的层次结构逼近对象。 }

(2)轴向包围盒

{ 60% : 轴向包围盒(Axis Aligned Bounding Boxes,AABB)是包围目标对象的体积最小的与坐标轴对齐的六面体, }在碰撞检测中应用最多,其优点是构造简单,计算量小,碰撞检测、对象运动或变形后的更新都相对容易,在软体碰撞检测中多有应用;{94% : 但包围紧密性较差(尤其对斜对角方向放置的瘦长形对象, 采用AABB, 将留下很大的边角空隙), 导致大量没必要的包围盒相交测试, }降低了时间效率。

(3)方向包围盒

{ 56% : 方向包围盒(Oriented Bounding Boxes,OBB)是指包含目标对象的相对于坐标轴方向任意的体积最小的正六面体, }{ 59% : 因其轴向与坐标轴方向没有对应关系,可以根据对象的形状尽可能紧密的包围对象, }它紧密性相对比包围球和AABB要好很多,{100% : 可以大大减少参与相交测试的包围盒的数目, }{97% : 当物体发生旋转运动后, 只需对OBB 进行同样的旋转即可, }{ 61% : 对于刚体间的碰撞检测, 实时性程度较高, }{90% : 总体性能要优于AABB 和包围球, }{96% : 因此,对于刚体间的碰撞检测OBB 不失为一种较好的选择。 }但其构造是比较复杂的,如果对象发生变形,包围盒需要重新构建,这个过程所花费的时间抵消了其紧密性所带来的优势,{ 56% : 所以在软体碰撞检测中应用较少。 }

(4)k-DOP

{ 59% : k-DOP(Discrete Orientation Polytopes)包围盒是选取k个固定方向来构建的包围目标对象的体积最小的凸多面体, }{90% : 它可以看作是AABB的扩展,它不再是用三对平面来包围对象,而是使用了k/2 对平面,正是因这种扩展,它弥补了AABB 紧密性差的缺点。 }

4.4复合层次包围盒树

单一的包围盒在实际系统应用中总是会凸显一方面的性能指标而另一方面不能兼顾,那是否存在将两种包围盒的优点结合起来的方法呢,答案是肯定的。 本文就将两种包围盒集中在一棵树中实现复合包围盒树,{ 64% : 通过在不同碰撞概率下使用不同包围盒,不同检测精度使用不同检测深度的思想, }{ 58% : 来平衡碰撞检测中精度与实时性的指标。 }

4.4.1 复合层次包围盒树概述

通过上面的分析可知Sphere对于相距较远彼此分离的对象,进行分离排除实时性很高, AABB包围盒虽然包围紧密性稍差,但相对于OBB包围盒其构造、碰撞检测、对象变形后的更新都相对容易,{ 60% : 在软体对象的碰撞检测中较常使用。 }所以本文中采用Sphere和AABB结合在一起来平衡碰撞检测中精度与实时性的指标。将构建的层次包围盒树分为三层,上层用包围球,中间层用Sphere-AABB复合包围盒,下层用AABB包围盒。之所以插入中间层Sphere-AABB使层数为三层,{ 66% : 是为了使层次间包围盒的紧密程度有个渐变性, }避免从上层到下层相交检测时间复杂度剧变。 { 56% : 复合层次包围盒法的意义在于, }综合了Sphere快速排除不相交对象和AABB相对紧密包围对象、相对准确判断对象相交的性能,获得了介于Sphere与AABB之间的时间性能和逼近于AABB方法的精度。

因为每层包围盒各有特点,通过调整上层、中层、下层的层数,可以达到不同的碰撞检测精度和速度。

4.4.2 复合层次包围盒树算法流程

算法流程如图4.3所示,其中分别是对象和层次包围盒树上的结点数,Flag为是否碰撞的标识,Sphere_Sphere, Sphere_AABB, AABB_AABB是不同的包围盒相交测试函数,Box()是参数结点对应的包围盒,Child()是参数结点对应的子节点。

{ 59% : 当遍历对象A的上层节点,对象B的上层节点时,由于包围盒均为Sphere, }紧密性较差,使用Sphere_Sphere检测函数进行相交检测,当遍历对象A的上层节点,对象B的中层节点,或者遍历对象A的中层节点,对象B的上层节点,或者遍历对象A的中层节点,对象B的中层节点时,依然使用Sphere_Sphere检测函数进行相交检测,{ 59% : 因为这两层的盒子紧密性都不是很好, }并且中间层具有混合包围盒结构,{ 72% : 可以选取Sphere包围盒, }如果对象A、B分离可以快速排除。

图4.3 复合层次包围盒树算法流程

当遍历对象A的上层节点,对象B的下层节点,或者遍历对象A的下层节点,对象B的上层节点时,使用Sphere_AABB检测方法。

当遍历对象A的中层、下层节点,对象B的下层节点,或者遍历对象A的下层节点,对象B的中层、下层节点时,使

用AABB_AABB检测方法。因为中层是复合结构,可以取AABB包围盒,在这一层碰撞的可能性也提高了。当遍历到两棵树的叶子节点包围盒相交,则进行叶子节点内基本图元集(三角形)的相交检测,如果存在两三角形对相交,则A和B相交,否则相离。对于三角形与三角形间的碰撞检测将在后面进行介绍。

检测报告由PaperFree文献相似度检测系统生成
Copyright2007-2015 PaperFree