

# 生物医学系统模型的三维拟实仿真和信息交互\*

蒲放<sup>1</sup> 樊瑜波<sup>1,△</sup> 蒋文涛<sup>1</sup> 张明<sup>2</sup> 麦福达<sup>2</sup> 陈君楷<sup>1</sup>

1(四川大学 生物力学所,成都 610065)

2(香港理工大学 康复科技中心,香港九龙)

**摘要** 针对生物医学工程研究对象几何形状不规则、材料复杂等特点,提出并实现了基于多边形描述的分层次绘制的生物医学系统模型三维仿真显示和基于 OpenGL选择模式的信息交互的软件方法。软件实现了三维模型的建立、随动几何变换和信息交互以及对常用商业有限元软件包数据文件的识别等功能。软件技术先进、界面友好、交互性强、使用方便,并具有良好的可扩展性和可移植性,为生物医学工程领域三维拟实仿真建立了一个优良的计算机图形学平台。

**关键词** 生物医学系统模型 信息交互 三维显示 OpenGL

## 3D Visualization and Information Interaction in Biomedical Applications

Pu Fang<sup>1</sup> Fan Yubo<sup>1</sup> Jiang Wentao<sup>1</sup> Zhang Ming<sup>2</sup> Arthur F. T. Mak<sup>2</sup> Chen Junkai<sup>1</sup>

1(Biomechanics Laboratory, Sichuan University, Chengdu 610065)

2(Rehabilitation Engineering Centre, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon Hong Kong)

**Abstract** 3D visualization and virtual reality are important trend in the development of modern science and technology, and as well in the studies on biomedical engineering. This paper presents a computer procedure developed for 3D visualization in biomedical applications. The biomedical models are constructed in slice sequences based on polygon cells and information interaction is realized on the basis of Open GL selection mode in particular consideration of the specialities in this field such as irregularity in geometry and complexity in material etc. The software developed has functions of 3D model construction and visualization, real-time modeling transformation, information interaction and so on. It could serve as useful platform for 3D visualization in biomedical engineering research.

**Key words** Biomedical model Information interaction 3D visualization OpenGL

## 1 引言

可视化及虚拟现实的仿真是现代科学与技术的一个重要发展趋势,生物医学工程领域也不例外,在生物医学系统三维有限元应力和变形分析、人体解剖的数字化显示、三维影象及疾病诊断、生物医学辅助教学等许多领域正得到越来越广泛的应用和重视。但是生物医学系统,如人体的器官、组织等,其几何构型往往具有不规则性,其材料组成具有复杂性,建立适应于生物医学系统模型三维拟实仿真及信息

交互的软件方法对于生物医学工程研究,特别是生物医学工程领域专用软件的开发具有重要的意义。

目前,用于应用程序开发的三维图形编程接口(3D API)主要有三种: Direct3D, QuickDraw 3D 和 OpenGL。Direct3D是微软公司交互多媒体应用程序接口 DirectX 的组成部分,包含一系列高层和低层 API,主要应用于 MS WINDOWS 平台游戏软件的开发,在图形设计、多媒体教学和虚拟现实中有广泛应用, Direct3D API 建立于硬件抽象仿真层(Hardware abstract-emulation layer),解决了不同图形硬件的兼容性,然而在可移植性、易用性、3D 功能的完备性和可扩展性等各方面还有待改进,同时,它的锁定机制会在某些情况下导致 CPU 与图形处理器争用显存,从而降低性能。QuickDraw 3D 是

\* 国家自然科学基金资助项目(39870231和 19732003),教育部博士点(98061011),香港理工大学 IGARD 资助项目

△ 通信联系人, ybfan@mail.sc.cninfo.net

Apple公司的三维图形库,包含一系列基于 Power-Mac 平台的面向对象的高层 API, QuicDraw 3D API建立在 QuicDraw 3D RAVE上,而 RAVE与其下的作图引擎、虚拟设备一起构成 QuicDraw 3D加速层,这样就将软件系统和硬件设备隔离开,因此 QuicDraw 3D API具有良好的操作性和可扩展性,同时,3D功能也比较完备,但目前它的实现平台还有限。OpenGL是 Silicon Graphics Inc. (SGI)为了统一其编写的图形库而推出的一种低层的 3D API,具有最好的跨平台可移植性,可用在 UNIX、MS WINDOWS、X WINDOWS、OS/2以及 Mac OS等操作系统下,同时由于它直接建立在硬件层上,有比 Direct3D更低的层次,因而可以提供更好的性能,它也具有较完备的 3D功能和良好的可扩展性,另外,对于实现同一功能,在三种 3D API中,OpenGL往往有最小的代码量和最好的可读性。正是由于 OpenGL的上述特点,本文提出并实现了基于 OpenGL的适合生物医学工程研究对象特点的三维拟仿真显示及相关信息交互式获取的软件方法。

## 2 模型的三维仿真显示

### 2.1 OpenGL的一般过程

作为硬件图形设备的软件接口,OpenGL在帧缓存中精确地绘制 2D或 3D的物体。这些物体描绘成顶点的序列,经过若干处理后,将这些数据转化为像素并在帧缓存中形成最终的影像。同时,作为独立于窗口系统、操作系统和硬件平台的三维图形处理技术,OpenGL包括图形处理、交互、窗口仿真和设备驱动等几个方面,其提供的函数可分为 6类:核心库,用于常规的、核心的图形处理;实用库,通过调用核心库,为开发者提供相对简单的用法以实现坐标变换、纹理映射等复杂操作;辅助库,提供窗口管理、输入输出处理等;工具库,提供基于窗口的工具以实现多窗口绘制、定时器等;WINDOWS专用库,用于连接 OpenGL和 WINDOWS,以弥补 OpenGL在文本方面的不足;WIN 32API函数,用于处理象素存储和双帧缓存,将替代 WINDOWS GDI原有的函数。OpenGL使用的一般过程如图 1。

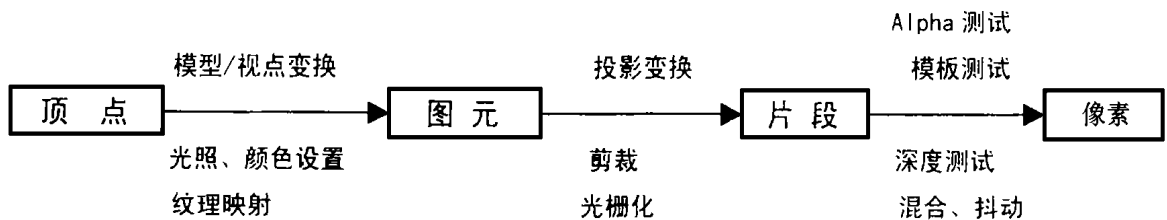


图 1 使用 OpenGL的一般过程

Fig 1 Procedures of using OpenGL

### 2.2 模型的几何表达

生物医学工程中研究对象的几何形态极不规则,不能简单地由公式或规则表达,目前的建模方法通常是通过 CT、X-ray、MRI或其它的光学、超声等扫描手段得到研究对象的连续切面的二维图像,然后用计算机三维重建技术来得到三维模型,事实上,计算机三维重建也正是当前生物医学工程研究中的一个热点和难点。针对生物医学工程中研究对象的特点,本文采用基于多边形描述的分层次绘制方法来实现几何模型的仿真显示:首先在经预处理的切面图像上按特定的规则交互式选取特征点并进行编码,然后按编码顺序以这些点作为顶点调用 OpenGL的 API函数进行绘图,编码为六位数,前两位为切面编号,第三位为分区数(用来表达不同的材料),第四、五位为区域内的线数,最后一位指明该点是哪一端点。软件提供线框模型、表面模型和体

素模型三种绘制方法,这样使用者可以在显示效果和速度之间根据自己的需要进行选择,同时,为了方便使用者进行观测,软件提供了平移、旋转、缩放的交互式实时随动操作,值得注意的是,尽管 OpenGL提供了旋转函数 `glRotate (Type, angle, Type X, Type Y, Type Z)`,但它将作用到坐标系上,即发生旋转的是对于旋转的坐标系,这种模式对于视点移动的模拟是方便的,但对于物体随动旋转的模拟不便实现,需另编写子模块。软件提供了以平面内移动矢量的垂直矢量为旋转矢量和以实际坐标轴的三个轴分别为旋转矢量两种方法以适应使用者的习惯。

以坐标轴的三个轴分别为旋转矢量时,由鼠标移动矢量的角度来决定绕哪一个轴转动。软件还能直接利用其他软件提供的数据来建立模型。商业通用有限元软件包在输出相关数据时,一般都有文本文件形式,不同的软件包,其格式也不一样,本文通

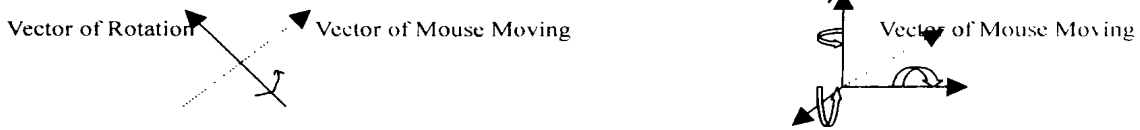


图 2 旋转矢量的定义

Fig 2 Definition of rotation vector

过解读这些文本文件来得到数据,然后按自己的规则对相应的点进行编码以实现几何建模。该功能模块是开放式的,针对不同的软件,使用者可以编写自己的文本转化程序,必要时甚至可以手工完成文本的转换。

### 2.3 模型的材质仿真

生物医学工程研究中,研究对象的组成通常是很复杂的,如下肢假肢系统通常包括接受腔、衬垫层、软组织、骨等部分,它们的材料特性相差很大,要得到真实的仿真效果,仅在几何形状上进行仿真是远远不够的,必须让这些材料体现出各自的质感。目前通用有限元软件包的材料库里,对生物医学工程研究对象或者没有涉及,或者只提供了相应的力学性质参数,如杨氏模量、泊松比等,而忽略了材料的质感参数,因此,得到的模型真实感往往不能令人满意。质感是通过色彩、光照和纹理来表现的,OpenGL提供的相应的基本函数,本文从可视化角度出发,在大量试验的基础上,得到了几种常用的组织,如肌肉、骨骼等在特定光照下的相关材质参数,这样,在进行仿真时,使用者只需根据实际情况指定相应的组织类型即可达到较好的仿真效果。

## 3 信息交互

三维模型的信息交互有助于使用者得到或设置所关心的某个部分,如某一层、某种材料、某个单元或某个节点处的相关信息。对于三维物体而言,交互的实现主要难点在于如何在经过任意平移、旋转、透视、缩放等操作后,仍能准确地拾取所关心的对象,本文利用OpenGL的选择模式下的拾取功能来实现这一功能。绘图模式、选择模式和反馈模式是OpenGL的三种不同工作模式。其中绘图模式是默认的,它将图元光栅化产生像素片段,并将其写入帧缓存中,从而实现屏幕上的绘图操作;而对于选择模式和反馈模式,OpenGL不产生像素片段,帧缓存中的内容也不发生改变,在选择模式下,OpenGL可以自动分辨及确认指定区域中所绘制的物体(需指定图元名称),并在退出选择模式时,将返回名称堆栈中的数目、被命中物体位于视景体内几何顶点的最

大和最小窗口坐标深度值、名称堆栈中的内容等信息给应用程序,基于这种机制,编制特定的应用程序就可以实现用鼠标等指定区域以拾取感兴趣的物体。选择模式的实现过程如图3。

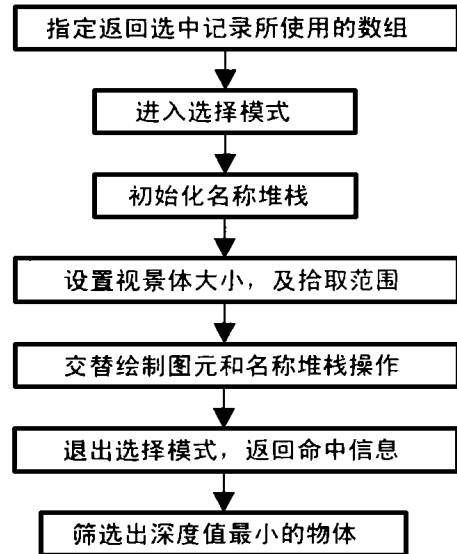


图 3 选择模式的实现

Fig 3 Flow chart of selection mode

因为有了前面几何模型建立时的顶点编码,因此在进行名称堆栈操作时,可根据实际需要研究对象在层、材料、单元或节点等不同的层次进行定义,而且顶点编码也可作为查找诸如应力、应变、位移等信息或设置诸如材料类型、荷载等参数的索引,由此,可以方便地在三维模型上实现信息交互。

## 4 软件的功能与特点

本文实现的软件具有如下的功能:

(1)可以从商业通用有限元软件包数据文件或其它数据源获取数据,建立三维模型,并对模型中的不同材料分别引用不同的色彩模型、光照模型和纹理模型的相关参数,使其更具真实性;

(2)可以用线框模式、表面模式和体素模式显示模型;

(3)实现了对模型进行平移、旋转、缩放等随动几何变换;

(4)能动态演示单元排列顺序及模型建立过程。

由此判断网格划分是否合乎要求;

(5)可以对关心的对象进行交互式拾取;

(6)利用融合模式,可对模型从外向内进行“解剖”,显示模型内部结构;

(7)可对计算的结果进行组合显示,即对选定的对象,可同时显示其所有相关信息

本文实现的软件具有如下的特点:

(1)能较好地适应生物医学工程研究对象特

点;

(2)界面友好,交互性强,使用方便;

(3)具有良好的扩展性和移植性

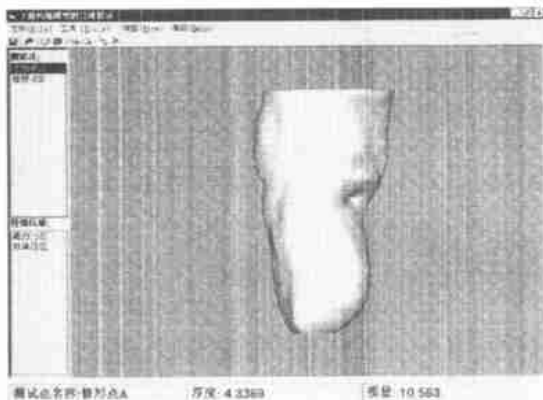
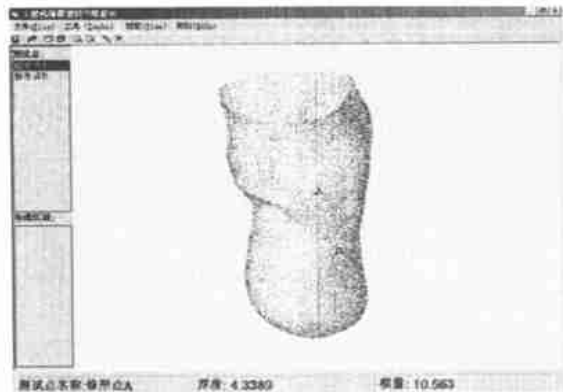


图 4 下肢残端的 3D 仿真

Fig 4 3D visualization of residual lower-limb

### 5 结 论

本文基于 OpenGL的图形标准,实现了有限元模型三维仿真显示和交互式信息获取。软件具有良好的交互性,可扩展性和可移植性,实际使用表明,该软件能较好地适应生物医学工程研究对象几何形状不规则,材料复杂等特点,可用于生物医学工程的数字仿真和有限元分析的后处理。

### 参 考 文 献

1 Mason Woo, Jakie Neider, et al. OpenGL Programming Guide,

ADDISON-WESLEY. 1999

2 Dave Shreiner. OpenGL Reference Manual ADDISON-WESLEY. 1999

3 Bill Welsh. Model-based coding of Image. Ph D Dissertation. British Telecom Research Lab. 1991

4 Santosh G. Zachariah, Joan E. Sanders. Automated Hexahedral Mesh Generation from Biomedical Image Data Application in Limb Prosthetic. IEEE Transactions On Rehabilitation Engineering. 1996, 4(2)

5 洪 磊,谢康林. 三维图形 API的分析与比较.小型微型计算机系统. 1999, 20(5)

(收稿: 2000-07-15)

(上接第 246页;Continued form Page 246)

3 Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active Contour Models. Int. J. Comput. Vision. 1987; 321

4 Yezzi A, Kichenassamy Jr S, Kumar A, et al., A geometric snake model for segmentation of medical imagery. IEEE Trans. On Medical Imaging, 1997, 4(16); 199

5 Castleman KR. Digital Image Processing. 北京:清华大学出版社, 1998; 453-455

6 章毓晋. 图像处理和分析.北京:清华大学出版社,北京, 1999. 2: 200-201

7 Dias JM B, Leitao JMN. Wall Position and Thickness Estimation from Sequences of Echocardiographic Images. IEEE Trans. On Medical Imaging, 1996, 2(15); 25

(收稿: 2000-04-07)