

## 基于 Visualization Toolkit 的脑模型三维重建方法研究

魏娜 王珏 刘明宇

[摘要] 目的 利用可视化工具包 Visualization Toolkit (VTK) 结合 VC++ 实现医学图像三维可视化。方法 基于头部 CT 测量数据,采用 Marching Cubes 算法和 Ray-casting 算法重建出头模型的表皮和颅骨。结果和结论 VTK 使用灵活,功能强大,利用它进行图像重建,具有重建步骤简单、效果好、速度快、交互能力强等优点,可以被广泛应用于医学图像的重建中。

[关键词] 可视化工具包(VTK);三维重建;医学图像

Three dimension reconstruction of brain by Visualization Toolkit WEI Na, WANG Jue, LIU Ming-yu. The Key Laboratory of Biomedical Information Engineering of Ministry of Education, Research Center of Rehabilitation Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shanxi, China

[Abstract] Objective To implement two typical algorithms, Marching Cubes and Ray-casting, of medical image 3-D visualization using Visualization Toolkit (VTK) with VC++. Methods Skull and scarfskin of brain were reconstructed based on CT data. Results and Conclusion VTK is a powerful tool with many advantages, such as easy to use, fast, good interaction ability, good results for image reconstruction and so on.

[Key words] Visualization Toolkit (VTK); 3-D reconstruction; medical image

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-9771(2005)03-0167-03

[本文著录格式] 魏娜,王珏,刘明宇.基于 Visualization Toolkit 的脑模型三维重建方法研究[J].中国康复理论与实践,2005,11(3):167-169.

近 20 年来,尽管计算机断层技术(CT)、核磁共振成像(MRI)和超声(US)等医学影像技术已广泛用于疾病的诊断,但它们只能为医生提供病变部位的一组二维断层图像。医生固然可以凭借多年的临床经验,估算出病灶的大小及形状,但这种诊断方法缺乏客观性和准确性。如何将这些断层图像进行三维重建,已成为当今医学影像技术研究的热点。本文试图利用三维重建工具 Visualization Toolkit (VTK) 进行头部 CT 断层图像重建。我们选择 VTK,是因为它是一种基于 OpenGL 的 3D 可视化工具,是 OpenGL 的二次开发,包含 500 多个类库,可以通过调用类库,快速高效地进行体视化的开发,使其拥有强大的三维图形功能,不像 OpenGL 的图形功能那么底层,代码的执行效率也远比 Matlab 高。同时,VTK 还是一种免费的开放源,可以直接用 C++、Tcl、Java、Python 编写代码,适用于 Unix 平台和 Windows98/ME/NT/2000/XP 平台<sup>[1]</sup>。

## 1 重建方法

医学图像的三维重建方法大体可分为 2 类:基于表面的体视方法(Surface-based rendering)和基于体素的体视方法(Voxel-based rendering)<sup>[2]</sup>。基于表面的体视方法首先由三维空间构造出中间几何图元,再

进行画面绘制,是表示三维物体形状最基本的方法,能产生比较清晰的等值面图像,还可利用现有硬件绘制,速度比较快<sup>[3]</sup>。但该方法只能表现物体的表面,舍弃了物体内部的大量信息,对于复杂的人体器官则无法准确描述。而基于体视法的最大特点是不需要构造物体表面的几何信息,而直接基于体数据进行显示,实质上是光线在媒介中传播近似的模拟,利用的媒介为体数据,这样就避免了重建过程所造成的伪象痕迹,缩短了体数据中寻找、计算物体表面的时间。这种方法不丢失细节,并具有图像质量高、便于并行处理等特点<sup>[4]</sup>。但该方法计算量很大,难于利用传统图形硬件实现绘制。下面,将分别对这两类算法进行详细讨论,并选取两种典型方法对其重建结果进行比较。

1.1 基于表面的体视方法 基于表面的体视方法关键在于构造中间几何图元(曲面、平面等),最常见的方法是从三维数据中抽取出等值面。一个适当的等值面可以代表某种物体的表面。这个过程也可以看成数据映射,即将原始数据中的部分属性映射为平面或曲面。

最早的体素级重建方法为立方体方法(Cuberille),由于该方法对每个体素的处理是独立的,得到的三维图像严重变形,给人一种块状的感觉。因此,Lorensen 等人于 1987 年提出了移动立方体方法(Marching Cubes, MC)来构造等值面<sup>[2]</sup>。为了解决三角片构成中的二义性问题,后人又提出了移动四面体(Marching Tetrahedra, MT)算法,但由于剖分方式的问题,仍未很好解决二义性问题。

本文采用经典的 MC 算法抽取等值面。MC 的基

基金项目:1.国家自然科学基金资助项目(No.60271025);2.陕西省科技计划资助项目(2003K10-G24)。

作者单位:710049 陕西西安市,西安交通大学生物医学信息工程教育部重点实验室,康复科学与技术研究中心。作者简介:魏娜(1981-),女,重庆市人,硕士研究生,主要研究方向:脑机制建模。

本思想是逐个处理数据场中的立方体(体素),分类出与等值面相交的立方体,采用插值计算出等值面与立方体边的交点。该算法中每个单元内等值面抽取的两个主要计算是:①体素中由三角片逼近的等值面的计算;②三角片各顶点法向量的计算。

本文利用 VTK 函数库<sup>[1]</sup>,根据 MC 算法抽取等值面,其步骤为:①调用 `vtkImageData` 函数,将二维断层图像数据分层读入;②调用 `vtkMarchingCubes` 函数,提取我们感兴趣的特征,利用线性插值计算出体素边与等值面的交点,创建等值面并求出三角面片各顶点的法向量;③调用 `vtkPolyDataMapper` 函数,指定数据与基本图元之间的映射关系;④定义重建场景的视角、焦点等属性,设置 Actor 的颜色、亮度、纹理图、绘制方式和阴影等表面属性。

**1.2 基于体素的体视方法** 直接体绘制算法事实上是将离散分布的三维数据场,按照一定规则转化为图形显示设备的二维离散信号,即生成每个像素的 RGB 值。该方法主要包括视见变换和明暗(浓淡)计算两个过程。视见,即把三维物体从物空间投影到二维象平面上,并消除被遮挡的部分。明暗计算主要是分配亮度,常用深度梯度估算法向量和灰度的梯度近似估算法向量<sup>[4]</sup>。

直接体绘制按其工作空间,可分为物空间的视见方法和象空间视见方法。光线投射法(Ray-casting)是直接体数据显示中应用最广的象空间视见算法,其基本思想<sup>[2]</sup>是:从屏幕上每个像素点根据设定的观察方向发出一束光线,这束光线与三维数据场相交。沿着这条光线选择若干个等距采样点,由距离采样点最近的 8 个体素的颜色值和不透明值做三线性插值,求出该采样点的颜色值和不透明度。而后,可以采用由后到前或由前到后的方法,将射线上每一采样点的颜色和不透明度组合起来,计算处屏幕上该像素点对应的颜色值,其算法流程图如图 1 所示。由于它涉及三维体数据的随机检索,所以成像速度很慢。因此,在实

际应用中,必须利用各种相关性来减少计算量。

本文采取 Ray-casting 算法,利用 VTK 函数库<sup>[1]</sup>重建步骤如下:①调用 `vtkVolume16Reader` 函数,读入体数据;②调用 `vtkPiecewiseFunction`、`vtkColorTransferFunction`、`vtkVolumeProperty` 函数,根据先验知识,利用 CT 灰度值设定阻光度和颜色的映射表;③调用 `vtkVolumeRayCastCompositeFunction` 函数,定义重建方法为光线合成法, `vtkVolumeRayCastMapper` 函数进行数据映射,并将这些值和属性都赋予 `vtkVolume` 对象;④定义重建场景属性,调用 Actor 绘制场景。

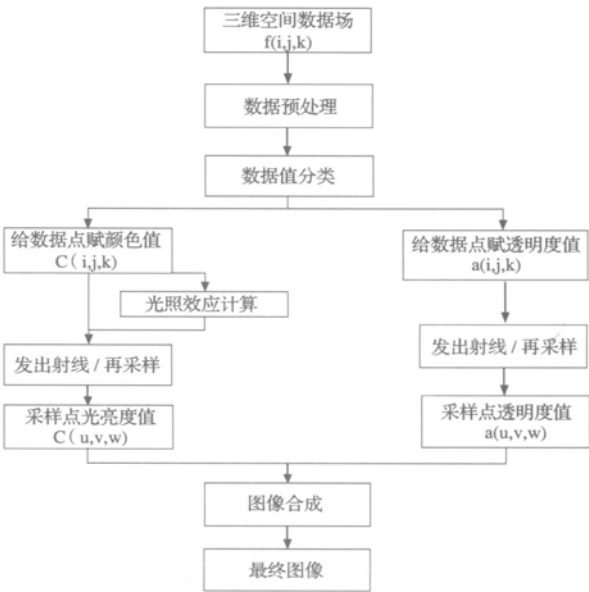


图 1 光线投射算法流程图<sup>[4]</sup>

2 结果

数据来源为 VTK 公司提供的头部 CT 体数据,大小为  $128 \times 128 \times 92$ ,层间隔为 3 mm。采用 MC 算法和 Ray-casting 算法三维重建骨骼和皮肤的效果见图 2 ~ 5。

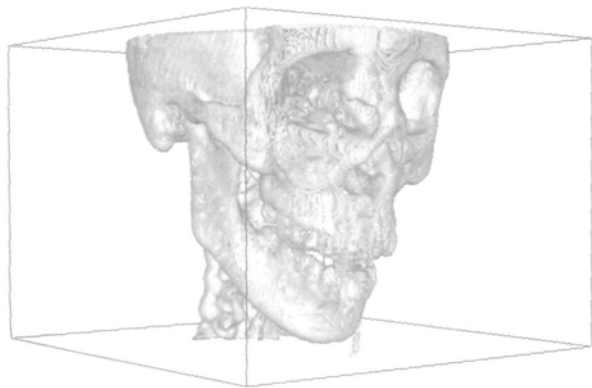


图 2 Ray-casting 算法重建骨骼

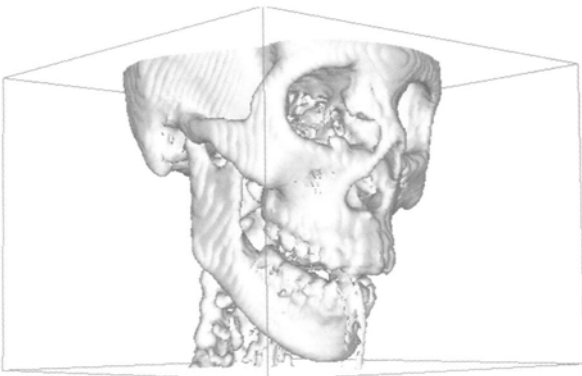


图 3 MC 算法重建骨骼

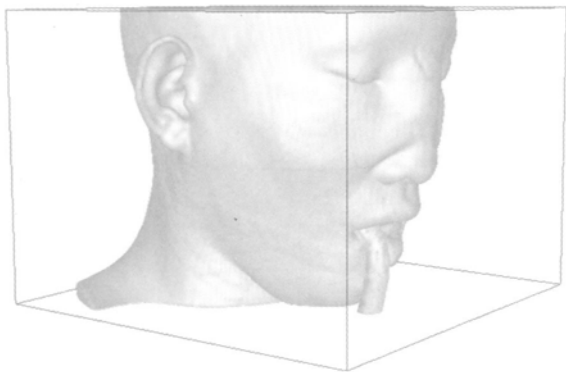


图 4 Ray casting 算法重建皮肤表面

我们还对这两种算法的运行平均时间进行了比较。当算法用 VisualC++ 6.0 开发平台结合 VTK 实现,处理环境为:CPU:Pentium 4 2.0 GHz,内存:128 M 时,MC 算法耗时 234 ms 左右;而 Ray casting 算法要遍历体数据场中的每一个体素,所以耗时较长,一般 1469 ms 左右。

### 3 讨论

通过对重建效果进行比较,可以看出,MC 算法重建结果表面不光滑,有阶梯效应。造成这种结果的原因可能是由于图象像素之间的距离太大。对于这个问题,可以通过将两幅相邻帧进一步插值解决。但是图象帧数越多,对于计算机的存储能力和处理速度的要求越高,所以要权衡一下效果和速度。而用 Ray casting 算法重建的结果,几乎看不出阶梯状。这是因为体绘制通过计算所有体素对光线的作用得到二维投影图,其计算并不依赖于景物和物体形状的复杂程度,同样也不依赖于视点<sup>[5]</sup>,所以处理三维采样信号效果比较好。

面绘制主要是提取感兴趣物体的表面信息,优点是对有明确表面的物体成像速度快,可以快速灵活地进行旋转和变换光照效果。缺点是内部信息的丢失比较大,其物体仅仅显示为一个空壳。与面绘制相比,体绘制引入了透明度,可以将各组织器官的形状特征及相互之间的层次关系表现出来,不丢失细节。缺点是由于要遍历数据场中的每一个体素,运算速度较慢,而且每次改变视角和光照时,要重新进行投影运算,难以运用到实时绘制中。为了发挥这两种三维重建算法的优势,可以考虑将表面绘制与直接体绘制算法结合,希

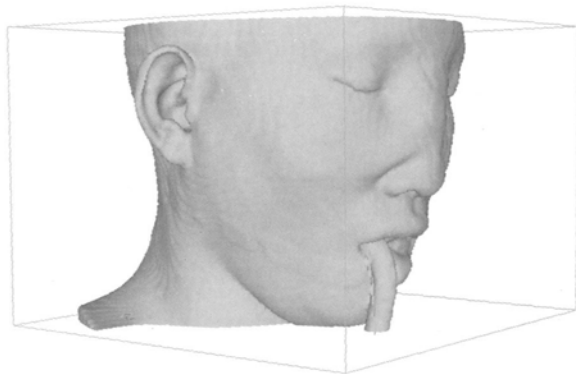


图 5 MC 算法重建皮肤表面

望能以表面特征表现组织或器官的层次结构,同时保留内部细节信息。利用混合绘制来实时绘制出表面特征清晰、层次分明的组织器官。

上述两种三维重建算法都是通过调用 VTK 实现的,从文中的重建步骤可以看出,直接调用 VTK 工具库,使得原本十分繁琐的编程步骤,变得异常简单,能轻松愉快地实现面绘制和体绘制算法,将算法研究人员从繁重的编码环境中解脱出来,投入更多的精力在算法本身的研究中。从三维重建效果和耗时来看,利用 VTK 强大的重建功能,能很好地提取医学图像信息,三维绘制速度快,耗时完全可以接受,可视化效果好。利用鼠标还能直接拖动三维模型,不断调整视角,医生可根据需要从任意角度进行观察,增强了系统的交互能力。由此可见,VTK 作为三维重建工具,给我们提供了一个平台,使得我们能比较轻松地开发三维重建系统。

### [参考文献]

- [1] Schroeder WJ. The VTK Users Guide[M]. Kitware:Kitware Inc., 1998.122 - 157.
- [2] 管伟光. 体视化技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,1998.55 - 120.
- [3] Ney D, Fishman EK, Fuchs H, et al. Three- Dimensional Visualization of medical data[C]. 21st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH,1994.28 - 76.
- [4] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999.15 - 110.
- [5] Barillot C. Surface and volume rendering techniques to display 3-D data[J]. IEEE Eng Med Bio,1993,(3):110 - 119.

(收稿日期:2004-12-23)