

基于 VTK 的虚拟心脏切面交互式可视化方法

贾延延, 杨 飞, 左旺孟, 王宽全

(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001, wangkq@hit.edu.cn)

摘 要: 为解决传统医学影像技术方向性单一的问题, 满足临床医学从不同方位从整体或切面等多角度对器官组织进行观察分析的需求, 提出了心脏核磁共振成像(MRI)数据的体可视化和任意角度切面的可视化方法. 基于可视化工具包 VTK, 在 VC6.0 开发环境中, 运用光线投射算法设计并实现了 MRI 羊心脏切片数据的三维体绘制, 横断、冠状、矢状位置的标准切片、切面以及任意角度、任意位置切面的绘制技术. 通过简单的鼠标操作就可以实时的对切面进行移动、旋转、缩放等交互操作. 实验结果表明: 该方法有助于医生从多个方位观察整体器官组织和切面形态. 在疾病预防、医疗诊断、手术方案制定以及术后评价中具有较大的实用价值.

关键词: 三维可视化; 体绘制; 光线投射算法; VTK; 切面

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)05-0770-05

VTK based interactive visualization of virtual heart

JIA Yan-yan, YANG Fei, ZUO Wang-meng, WANG Kuan-quan

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, wangkq@hit.edu.cn)

Abstract: To solve the fixed direction problem in traditional medical imaging technologies and satisfy the clinical medicine requirement of observing the organ in term of the whole or sections from different viewpoints, a three dimensional visualization method of the cardiac MRI data to display the whole heart volume and the arbitrary-cut sections is proposed. Using VC6.0 and VTK, the ray casting method is adopted to realize the three-dimensional visualization of total and partial cardiac MRI data and the virtual sections from arbitrary viewpoint. Simple interactive operations such as scaling, translation and rotation can be realized in real time. The experimental results show that the presented method can assist doctors to observe the organ tissue and sections from different viewpoints, which is valuable in disease prevention, medical diagnosis, surgical planning and postoperative evaluation.

Key words: three-dimensional visualization; volume rendering; Ray-casting; VTK; section

体绘制 (Volume Rendering)^[1-2] 的探索始于 20 世纪 70 年代中期, 随着断层投影、核磁共振、超声波等医学影像技术的产生, 体绘制技术在绘制算法、绘制速度和应用等方面都得以长足发展. 目前, 体绘制领域中的经典算法主要有: Levoy M^[3] 提出的光线投射法 (ray casting), Westover L^[4] 提出的足迹表法 (footprint), Camer-

on G、Lacroute P^[5] 提出的错切-变形法 (shear-warp), 以及基于硬件的 3D 纹理映射法 (hardware-assisted 3D texture-mapping), 基于频域的体绘制法 (frequency domain volume rendering) 等^[6]. 本文在核磁共振成像 (MRI) 的基础上, 运用体绘制算法对羊心脏切片数据进行处理, 借助可视化工具包 VTK (visualization toolkit)^[7] 实现心脏数据的三维可视化. 直观地还原了羊心脏原貌, 克服了原始 MRI 影像序列难以从整体角度展现组织器官层次信息和结构特点的弊端, 扩展了原有切片数据的方向性, 使医生不仅可以通过鼠标交互观察任意位置的横断、冠状、矢状 3 个标准切面^[8],

收稿日期: 2009-11-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60872099); 国家高技术研究与发展计划资助项目 (2006AA01Z308).

作者简介: 贾延延 (1983—), 女, 博士研究生;

王宽全 (1964—), 男, 教授, 博士生导师.

还可以观察任意角度、任意部位的虚拟切面.并能对切面进行移动、缩放、旋转等交互操作,从而帮助医生做出更加准确的诊断和制定正确的手术方案.

1 体绘制理论与 VTK 技术

体绘制技术可分为两类:间接体绘制 (Indirect Volume Rendering) 和直接体绘制 (Direct Volume Rendering). 间接体绘制又称为面绘制 (Surface Rendering)^[9], 是从三维数据场中抽取有用信息的一种重要手段. 该方法通过构造中间几何图元, 将体数据转换为一种逼近面表示, 进而利用计算机图形学技术显示感兴趣区域的表面信息. 本文所采用的直接体绘制方法无须中间转换过程, 直接对体数据进行明暗处理, 合成具有立体感的绘制结果. 具有无须进行转换即可直接进行绘制, 保留三维数据场的细节信息, 整体绘制质量高的优点.

在体绘制理论的基础上, 借助可视化工具包 VTK 技术实现羊心脏切片数据的三维可视化. VTK 是 Kitware 公司推出的一个支持多平台的类库, 它是在三维函数库 OpenGL 的基础上发展起来的, 并且具有更强的方便性和灵活性. 主要特点为: 1) VTK 构建在 OpenGL 图形类库的基础之上, 可用于三维图像处理、计算机图形学和可视化等领域. 2) 支持和处理多种格式的数据, 如点阵、图像、体元数据等. 3) 构造在 C++ 语言之上, 支持多种脚本语言如 Java、TCL&Tk、Python 等. 4) 面向对象的可视化类库, 包含了大量的对象模型 (Object Models), 如图形模型对象 (Graphics Models) 和可视化模型对象 (Visualization Models). 5) 开源类库, 封装了图形图像和可视化领域内的上百种常用算法, 具有强大的生命力. 6) 采用流水线机制, 程序的执行过程可以用流水线清晰的描绘出来.

可视化领域常用的工具包还包括: 分割与配准平台 ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit)、医学影像工具包 MITK (Medical Imaging ToolKit)^[10] 等. ITK 仅是一个图像处理工具包, 包括图像的读写、分割、配准、滤波等功能, 但不能进行数据的显示与可视化, 也不具备图像用户接口. 因此, ITK 一般要与可视化工具包 VTK 及 MFC、QT 等工具配合使用. 为集成医学影像的分割、配准与可视化功能, 中国科学院自动化研究所开发了集成化的医学影像处理与分析类库 MITK, 它具有较强的可移植性和代码优化能力, 虽然其三维

重建及可视化功能强大但提供的算法不够丰富. 相比之下, VTK 具有强大的三维可视化功能和丰富的图像处理算法, 使其在可视化领域得到了广泛的应用.

2 心脏数据三维可视化及切面显示

本文所使用实验数据为 $352 \times 352 \times 256$ 的 Sheep Heart 系列羊心脏 MRI 组织切片数据 (<http://www9.informatik.uni-erlangen.de/External/vollib/>), 该数据集中存在少量由于心脏局部循环阻塞造成的坏死组织, MRI 切片图像示例如图 1 所示. 实验开发平台为 Microsoft Visual C++ 6.0, VTK 版本为 VTK5.0.2. 计算机配置为 Pentium (R) 4 CPU 3.00 GHz, 1.00 GB 内存.

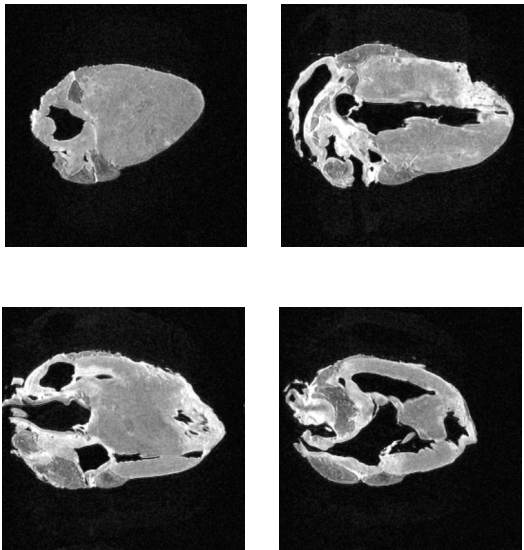


图 1 部分原始羊心脏 MRI 切片数据

2.1 心脏数据三维可视化

采用体绘制中经典的光线投射算法 (Ray Casting) 进行心脏数据的三维可视化, 基本原理为: 从图像空间的每一像素出发, 按视线方向发射一条射线. 这条射线穿过三维数据场, 沿着这条射线选择 K 个等距的采样点, 并由距离某一采样点最近的 8 数据点的颜色值和不透明度值作三线性插值, 求出该采样点的颜色值和不透明度值. 再将每条射线上各采样点的颜色值和不透明度值由前向后或由后向前加以合成, 即可得到发出该射线的像素点的颜色值^[11].

在 VTK 中用 vtkVolumeRayCastCompositeFunction 类进行光线投射算法采样点的累计, 算法实现的伪代码如下:

```
RayCastCompositeFunction()  
{  
    vtkRenderer * yRen = vtkRenderer::New();  
    //定义绘制器
```

```

vtkRenderWindow * yRenWin = vtkRenderWindow::New(); //定义绘制窗口
vtkRenderWindowInteractor * yIren = vtkRenderWindowInteractor::New(); //定义交互器
vtkBMPReader * yReader = vtkBMPReader::New(); //用 vtkBMPReader 类读入图片序列
yReader -> SetFilePrefix ( " Data Path" ); //设置图片序列路径
* yOpacityTFunction = vtkPiecewiseFunction::New(); //定义不透明度传递函数
yOpacityTFunction -> AddPoint ( 255, 0.2 ); //对不同灰度赋予不同的不透明度值
* yColorTFunction = vtkColorTransferFunction::New(); //定义颜色传递函数
yColorTFunction -> AddRGBPoint ( 49.0, 1.00, 0.0, 0.384 ); //赋予不同灰度相应颜色值
vtkVolumeProperty * yVolumeProperty = vtkVolumeProperty::New(); //定义三维体属性
yVolumeProperty -> SetColor ( yColorTFunction ); //设置颜色传递函数
yVolumeProperty -> SetScalarOpacity ( yOpacityTFunction ); //设置不透明度传递函数
yVolumeProperty -> SetInterpolationTypeToLinear(); //设置插值方式
vtkVolumeRayCastCompositeFunction
* yCompFunc = vtkVolumeRayCastCompositeFunction::New(); //定义光线投射合成算法
* yVolumeMapper = vtkVolumeRayCastMapper::New(); //定义映射器
yVolumeMapper -> SetInput ( yReader -> GetOutput() ); //设置读入数据源
yVolumeMapper -> SetVolumeRayCastFunction ( yCompFunc ); //设置光线投射法合成方式
vtkVolume * yVolume = vtkVolume::New(); //用 vtkVolume 类定义三维体对象
yVolume -> SetMapper ( yVolumeMapper );
yVolume -> SetProperty ( yVolumeProperty ); //设置心脏体的几何形态和属性
yRen -> AddVolume ( yVolume ); //将三维体加入到绘制器中
yRenWin -> AddRenderer ( yRen ); //将绘制器加入到绘制窗口中
yIren -> SetRenderWindow ( yRenWin );
yRenWin -> Render(); }

```

运用光线投射算法进行羊心脏数据的三维可视化,实验结果如图 2 所示,通过鼠标交互可实现

心脏的旋转、缩放和平移等操作. 该方法直观的将系列原始羊心脏 MRI 二维切片数据还原为三维心脏体,将灰度图像变换为具有真实感的彩色图像. 从而,不仅提高了人眼对图像的敏感度和分辨能力,还便于从多方位直观地观察心脏的整体形态特征.

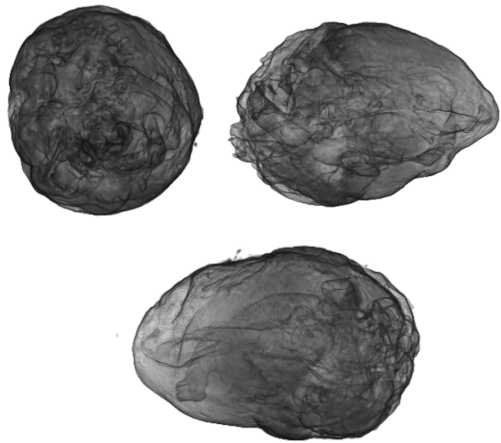


图 2 心脏数据三维可视化结果

2.2 切面显示

2.2.1 心脏标准切面显示

利用 `vtkImageReslice` 类实现心脏数据标准切片的显示,提取结果如图 3 所示,其中图 3(a) ~ 图 3(c)分别显示了切片方向垂直于 x 轴、垂直于 y 轴和垂直于 z 轴的羊心脏标准方向切片,从而扩展了原始 MRI 羊心脏切片序列的方向性.

利用 `vtkPlaneWidget` 类定义法向量分别沿着 x 、 y 、 z 3 个坐标轴的标准切面,相应显示横断、冠状、矢状 3 个具有重要医学价值的切面. 可以通过鼠标交互控制切平面位置和大小. 在切面的平移过程中,被切掉的部分心脏会消失,从而在光线投射算法重建的剩余部分心脏体基础上,将心脏剖面内部的层次细节和组织结构特征展现出来. 该功能实现的伪代码为:

```

vtkPlaneWidget * yPlaneWidget = vtkPlaneWidget::New(); //定义切平面
yPlaneWidget -> SetInteractor ( iren ); //设置交互
yPlaneWidget -> SetPlaceFactor ( 1.25 ); //设置切平面和心脏截面的大小比例
yPlaneWidget -> GetPlaneProperty () -> SetOpacity ( 0.2 ); //设置切平面不透明度为 0.2
yPlaneWidget -> SetInput ( ( vtkDataSet * ) ReaderImageCast -> GetOutput() ); //转换数据类型
yPlaneWidget -> NormalToYAxisOn (); //设

```

置平面的法向量沿着 y 轴

通过上述方法进行心脏数据标准方向切面的提取, 实验结果如图 4、图 5 所示, 图 4(a) ~ 图 4(c) 和图 5(a) ~ 图 5(c) 分别显示了切面剩余数据的可视化效果和切面的位置。相对于图 3 中的切片信息, 可以看出图 4 中的心脏切面不仅

可以体现心脏剖面的表面特征, 更能突出心脏剖面内部的层次细节和整体组织形态, 真实的还原组织器官原貌, 有利于从整体角度观察心脏内部的组织结构和病变区域, 使病灶的观察和诊断更为直观和准确。

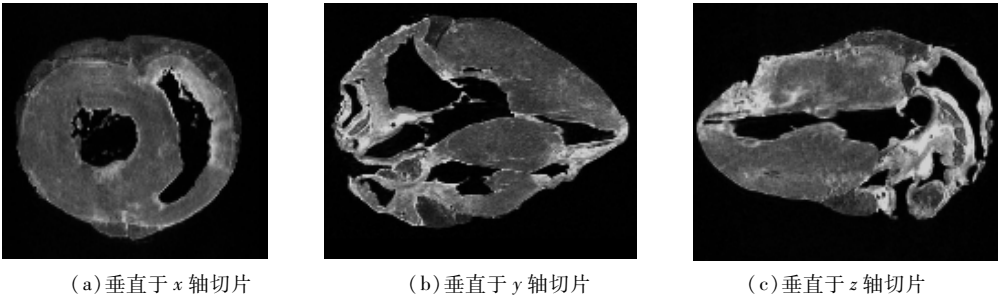


图 3 心脏数据横断、冠状、矢状标准切片

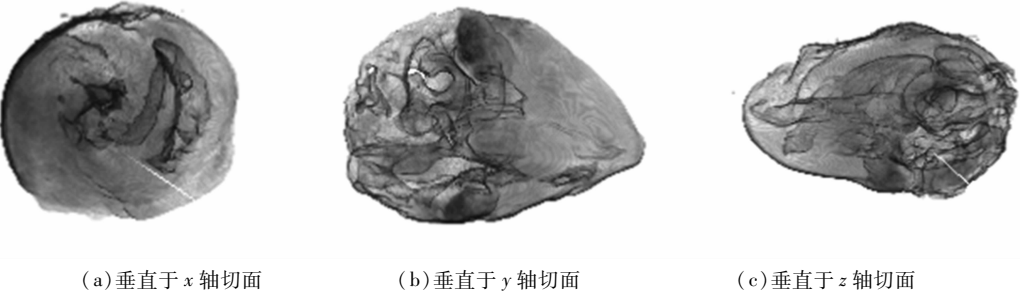


图 4 心脏数据横断、冠状、矢状标准切面

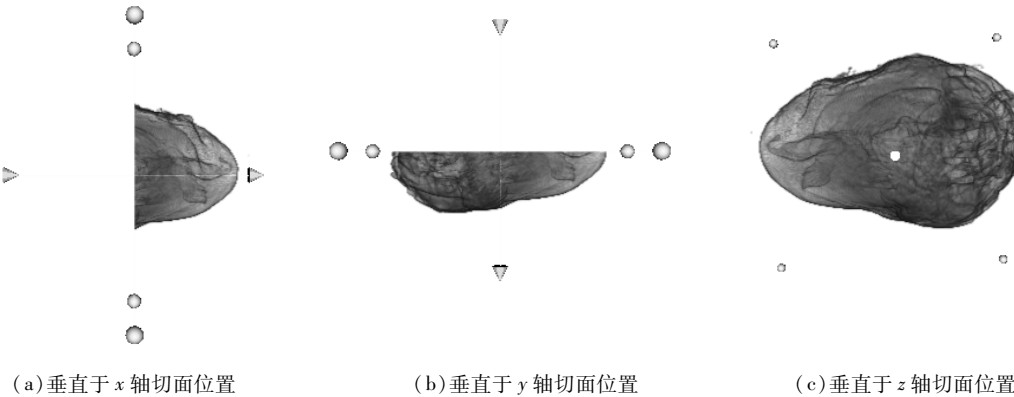


图 5 心脏数据横断、冠状、矢状标准切面位置

2.2.2 心脏任意切面显示

横断、冠状、矢状标准切面的显示为医生观察心脏内部组织结构和层次细节提供了方便。然而在实际的诊断中, 为了更加准确详细的观察患处, 任意方位的切面也具有极大的研究价值。本文即在传统的单方向 MRI 切片序列基础之上成功提取了 3 个标准方向的心脏切片以及切面序列。不仅如此, 更进一步利用光线投射算法获取了任意方位的心脏切面, 使得医生从任意方位对病变组织进行观察、诊治成为现实, 从而大幅度提高了诊断的准确性, 在最大程度上再次利用了图像信息。

在 VTK 中用 `vtkImplicitPlaneWidget` 类来实现任意方位切面显示, 伪代码为:

```
vtkImplicitPlaneWidget * yPlaneWidget = vtkImplicitPlaneWidget::New(); // 定义切平面
yPlaneWidget -> SetInteractor( iren ); // 设置交互
yPlaneWidget -> SetPlaceFactor( 1.25 ); // 设置切平面和心脏截面的大小比例
yPlaneWidget -> GetPlaneProperty() -> SetOpacity( 0.1 ); // 设置不透明度为 0.1
yPlaneWidget -> GetOutlineProperty() ->
```

```
SetColor(0,0,1);//设置切面边缘颜色
yPlaneWidget -> SetOrigin ( xx/2, yy/2, zz/
2); //设置平面初始位置
yPlaneWidget -> SetInput ( ( vtkDataSet * )
ReaderImageCast -> GetOutput ( ));//转换数据
类型
yPlaneWidget -> PlaceWidget();
yPlaneWidget -> AddObserver ( vtkCom-
mand::InteractionEvent,myCallback);
根据上述提出的获取任意方位虚拟切面的方
```

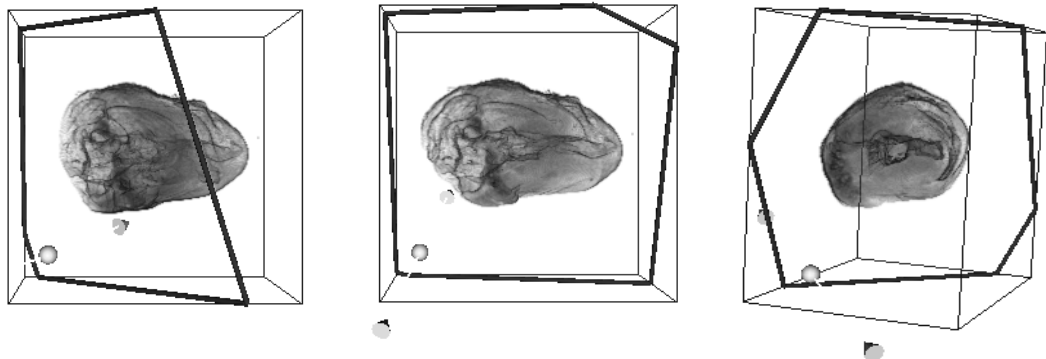


图 6 心脏数据任意切面

3 结 论

1) 实现了系列羊心脏 MRI 切片数据的三维可视化,直观还原了心脏原貌,便于整体观察心脏形态。

2) 实现了心脏标准方向切片及切面的显示,扩展了原始 MRI 切片序列的方向性并通过切面及对剩余数据集的可视化从整体角度剖析心脏内部层次信息和组织结构。

3) 实现了任意方位切面的显示,通过对虚拟切面和剩余部分心脏数据进行缩放、平移、旋转等实时交互操作,使观察感兴趣区域的任意方向、任意位置形态特征成为可能,突破了传统的医学影像技术方向性的局限,更有效的辅助医学诊断,对疾病的防范与治疗具有一定积极意义。

参考文献:

- [1] DREBIN R A, CARPENTER L, HANRAHAN P. Volume rendering[C]//Proceedings of the 15th ACM SIGGRAPH International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Atlanta: ACM, 1988: 65-74.
- [2] CALLAHAN S P, CALLAHAN J H, SCHEIDEGGER C E, *et al.* Direct volume rendering: A 3D plotting technique for scientific data[J]. Computing in Science and Engineering, 2008, 10(1): 88-92.
- [3] LEVOY M. Display of surface from volume data[J].

法进行心脏任意切面显示实验. 实验结果如图 6 所示. 对比图 4、图 5 可以看出图 6 中显示了不同位置、不同方向处的心脏切面. 可以通过平移、旋转和缩放等鼠标交互操作,观察心脏内部任意感兴趣区域不同方位的形态特征,全方位的了解病灶区域特点,突破了传统的医学影像技术只能从标准方向观察组织形态的局限性,在标准切面显示的基础上进一步扩展观察方向,全方位剖析心脏组织结构,在最大程度上利用了原始图像信息,进而更有效的辅助医学诊断与治疗。

IEEE Computer Graphics and Application, 1988,8(3): 29-37.

- [4] WESTOVER L. Footprint evaluation for volume rendering[C]//Proceedings of the 17th ACM SIGGRAPH International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Dallas: ACM, 1990: 367-376.
- [5] LACROUTE P, LEVOY M. Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation [C]//Proceedings of the 21st ACM SIGGRAPH International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Florida: ACM, 1994: 451-458.
- [6] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [7] SCHROEDER W J. The VTK User's Guide (Version 4) [M]. New York: Kitware, 2001.
- [8] ROBB R A, BARILLOT C. Interactive display and analysis of 3-D medical images[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1989, 8(3): 217-226.
- [9] LORENSEN W E, CLINE H E. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm[C]//Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Anaheim: ACM, 1987: 163-169.
- [10] 赵明昌, 田捷, 薛健, 等. 医学影像处理与分析开发包 MITK 的设计与实现[J]. 软件学报, 2005, 16(4): 485-495.
- [11] 彭延军, 石教英. 体绘制技术在医学可视化中的新发展[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(12): 1239-1246.

(编辑 张 红)