论著

文章编号:1000-5404(2010)16-1708-04

数字人脑可视化平台的构建研究

郑小林[1],朱文武[1],罗洪艳[1],张绍祥[2],胡 南[1],谭立文[2],杨清云[1] (400040 重庆,重庆大学生物工程学院[1];400038 重庆,第三军医大学基础医学部人体解剖学教研室,重庆市数字医学研究所[2])

【摘要】 **目的** 建立数字人脑可视化平台。**方法** 选取中国可视化人(Chinese visible human,CVH)的脑部切片图像,在Windows平台上以Visual C ++为开发工具,结合可视化类库VTK,进行数字人脑可视化平台的框架构建、基于MarchingCube(MC)算法的三维重建及基于3D Widget的三维模型交互式虚拟剖切等可视化展示。**结果** 建立了数字人脑可视化平台,实现了多值面绘制和体绘制重建、精确的交互式三维剖切、任意方位虚拟切片的动态观察及三维场景渲染参数动态设置等多种功能。**结论** 数字人脑可视化平台能真实展示人脑的解剖特征,可为人脑解剖教学和脑外科手术计划制定等各种临床应用提供平台支持。

【关键词】 可视人;多值面绘制重建;可视化;人脑

【中图法分类号】 R319;R323.1 【文献标志码】 A

Construction of digital human brain platform

Zheng Xiaolin[1], Zhu Wenwu[1], Luo Hongyan[1], Zhang Shaoxiang[2], Hu Nan[1], Tan Liwen[2], Yang Qingyun[1] ([1]College of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing, 400040; [2]Department of Anatomy, College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, Chongqing, 400038, China)

【**Abstract**】 Objective To construct a visualization platform of digital human brain. Methods With the use of the cross-section slice images of human brain selected from the Chinese Visible Human Dataset, Visual C ++ and VTK software were adopted to develop the framework of visualization platform and implement the visualization of human brain in Windows operating system, involving 3-D reconstruction based on Marching Cube algorithm and the interactive virtual cutting of the model based on 3-D widget, *etc*. Results The visualization platform of digital human brain was successfully established, which provided a variety of functions including the multi-value surface reconstruction and volume reconstruction, the accurately interactive 3-D clipping, dynamic observation of virtual slice image in an arbitrary orientation, dynamic setting of rendering parameters and rotation of 3-D model. Conclusion The platform demonstrates the anatomic features of human brain elaborately, and therefore provides a powerful tool to facilitate a series of clinical applications, such as anatomy teaching and planning of brain surgery.

【**Key words**】 visible human; multi-value surface reconstruction; visualization; human brain

Supported by the National Natural Science Foundation of China(60771025,60871099). Corresponding author: Zheng Xiaolin, Tel: 86-23-65103578, E-mail: zxl@cqu.edu.cn

2001年,美国科学家联盟提出“数字人”[1,2]计划,其目标是实现人体从基因到分子、细胞、组织、器官、系统和整体的精确模拟,该计划被认为是21世纪医学生命科学新的制高点。而脑是人体内结构和功能最复杂的器官,通过构建人脑可视化平台,在该平台上建立人脑数字解剖模型[3],对于深入开展人脑的内部结构、形态的探索与研究,并进一步实现手术规划及模拟仿真等临床应用具有非常重要的意义[4,5]。

在数字人脑的可视化平台研究领域,国外如德国汉堡大学数学和计算机医学研究所[6]开发的Voxelman系统可用于数字人脑解剖教学,但其数据来源以西方人体为主,所构建的数字人脑模型不具有东方人体特征。国内对数字化人脑的研究多是基于CT、MRI图像,采用商业化软件如Amira等进行建模分析,不能对程序框架结构作进一步扩展,极大的限制了三维可视化模型的进一步研究与应用。

本研究在充分利用开源软件包VTK(visualization

【基金项目】 国家自然科学基金(60771025,60871099)

【通信作者】 郑小林,电话:(023)65103578,E-mail:zxl@cqu.edu.cn

toolkit)[7]强大的可视化功能基础上,基于 Visual C ++ 软件开发工具,构建了数字人脑的可视化平台。该平台旨在为解剖教学和脑外科手术计划制定提供平台支持,为人脑知识表示模型的构建提供基础框架。

1 材料与方法

1.1 人体大脑数据集来源

本研究选用第三军医大学采集的首例中国女数字化可视人体数据集(Chinese visible human-2, CVH-2)的切片子集。该数据标本为 1 名 22 岁健康女性,身高 162 cm,体质量 54 kg,脑部结构无器质性损伤。从中选取包含脑白质与脑灰质结构的彩色断面切片图像共计 422 张。所有切片图像经过前期的配准、去背景和分割处理,每张图像像素为 3 072 × 2 048,格式为 TIFF,大小为 36 M[4]。为进一步降低运算量,提高重建速度,将切片图像裁减为 330 × 355 大小,并转化为灰度图像。

1.2 方法

1.2.1 软硬件环境 硬件配置:21 英寸 EIZO 专业显示器,最大分辨率 2 048 × 1 536,最高刷新频率 60 Hz;CPU 为 AMD Opteron™ Professor250,主频 2.39 GHz;内存 16 G,硬盘容量 80 G + 300 G。软件配置:Windows XP Professional x64 Edition 操作系统,Microsoft Visual C ++ 6.0 开发平台,VTK5.1 可视化类库等。

1.2.2 数字人脑可视化平台的框架构建 数字人脑可视化平台的框架结构如图 1 所示,主要由数据 I/O 模块、体数据处理分析模块、三维重建模块、交互式三维剖切模块、虚拟切片动态观察模块和界面交互管理模块构成。

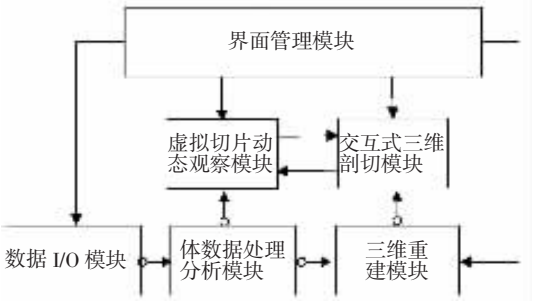


图 1 数字人脑可视化平台的框架结构

①数据 I/O 模块:主要封装 vtkBmpReader、vtkWriter 等类,提供图片数据读取及模型数据保存等功能。②体数据处理分析模块:主要封装 vtkImageShrink3D、vtkImageGaussianSmooth 等类,提供对规则体数据进行二次采样、高斯平滑等预处理功能。③三维重建模块:主要封装 vtkMarchingCubes、vtkPiecewiseFunction 等类,提供多值面绘制重建及直接体绘制重建等功能。④交互式三维剖切模块:主要封装 vtkImplicitPlaneWidget、vtkCallbackCommand 等类,提供交互式精确虚拟剖切等功能。⑤虚拟切片动态观察模块:主要封装了 vtkImageReslice、vtkLookupTable 等类,提供二维切片提取及动态平移观察定位等功能。⑥界面交互管理模块:采用文档/视图结构,主要封装 vtkRenderer、vtkRenderWindow 等类,用于实现系统各个功能模块的统一交互。

1.2.3 数字人脑可视化平台的功能实现

1.2.3.1 多值面绘制重建 多值面绘制重建是根据拟重建的多个结构的不同图像阈值(比如灰度值)计算出相应等值面的值,再对三维空间数据场进行多次等值面抽取,从而得到相应可视化模型的一种方法。具体采用移动立方体算法抽取等值面,然后对各个等值面的三角面片进行削减、平滑等处理,最后通过 Mapper 映射实现多个解剖结构的重建。以下是实现该功能的部分代码:

```
std::list < int > temYuZhi;//保存获得的阈值
int y = vYuzhi. size();//得到阈值个数
for (size_t numIndex = 0; numIndex < y; numIndex ++)
//根据阈值个数进行循环重建
{
skinExtractor[numIndex] - > SetValue(numIndex, vYuzhi[numIndex]);//抽取各个等值面
vdeci[numIndex] - > SetTargetReduction(0.5);//设置削减系数
vsmoother[numIndex] - > SetNumberOfIterations(800);//设置平滑系数
vskinMapper[numIndex] - > SetInputConnection(vskinNormal[numIndex] - > GetOutputPort());//将数据映射为图形
vskin[numIndex] - > SetMapper(vskinMapper[numIndex]);//将各个解剖结构映射到对应的演员对象
}
```

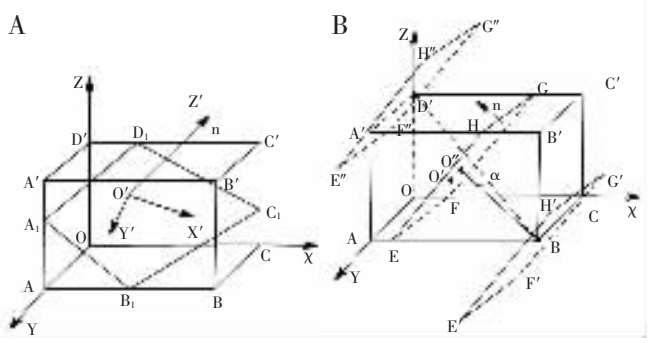
1.2.3.2 交互式三维剖切 我们采用 Observer/Command 设计模式[8],构建由旋转控制轴、平移控制轴和剖切平面等组成的三维小机构(3D Widget)。它扮演 Observer 的角色,通过 AddObserver() 方法添加对 vtkCommand::InteractionEvent 事件的响应,然后在响应该事件的回调函数中实现剖切功能。该功能的核心代码如下所示:

```
vtkImplicitPlaneWidget
* boxWidget = vtkImplicitPlaneWidget::New();//建立剖切对象
boxWidget- > AddObserver(vtkCommand::InteractionEvent, callback);//添加事件观察和响应函数对象
boxWidget- > SetProp3D(prop3D);//设定实体剖切对象
boxWidget- > PlaceWidget();//放置剖切平面
```

1.2.3.3 虚拟切片的动态观察 实现任意方位虚拟切片动态观察的关键在于任意方向虚拟切片的提取,以及给定方向上切片移动范围的确定。切平面与体数据之间的关系可采用如图 2A 所示的几何模型进行模拟,图中长方体 ABCO-A'B'C'D'表示规则体数据。假设切平面与体数据相交,则会形成平面 $A_1B_1C_1D_1$。以切入点 O'作为原点,切入方向向量 n 作为切割坐标系中 Z'轴的方向,根据左手法则就构建出切割坐标系 X'Y'Z',然后将其 3 个坐标轴方向向量的余弦值及原点坐标代入切片提取算法就可实现平面 X'O'Y'对应切片图像的提取。

进一步构建出虚拟切片平移模型如图 2B 所示。在体数据场内的任意切平面沿其法向量方向作平移运动时,它与体数据场的临界交点一定是长方体 4 条对角线中其中 1 条的 2 个端点。因此,根据空间平面法向量及长方体对角线性质定理,切

平面的移动范围就等于该对角线上 2 个端点到切平面的距离之和。



A：提取模型；B：平移模型

图 2　虚拟切平面与体数据之间的关系展示

2　结果

2.1　平台界面

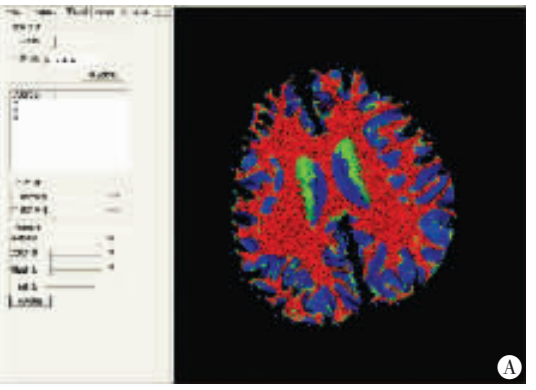
数字人脑可视化平台的界面主要由功能面板区和视图展示区组成。功能面板区包含多个标签页，每个标签页对应于1～2 个功能模块，可以通过标签下的文本输入框、滑动条等交互控件进行参数设置，为使用者提供了快捷方便的交互操作。如“虚拟剖切”标签页，它对应控制交互式三维剖切及二维虚拟切片动态观察功能模块，通过向输入框中输入切平面方向向量坐标和切入点坐标可直接实现 3D Widget 在三维可视化场景中的定位，调节滑动条可实现虚拟切片在当前方向上的动态平移。视图展示区主要用于展示二维断面图像和三维可视化模型。

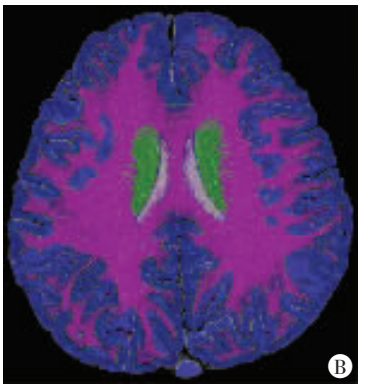
2.2　三维重建

本平台提供多值面绘制与直接体绘制 2 种三维重建方式供使用者选择，分别在“面绘制”与“体绘制”标签页下实现。以白质、灰质和尾状核 3 个解剖结构的面绘制重建为例，加载人脑切片数据后，在“面绘制”标签页的多阈值输入框中输入它们对应的灰度值（91、121、111），然后调节滑动条设置三角面片的削减系数和平滑系数，最后点击“开始重建”按钮，重建结果就会显示在右边的视图展示区，如图 3A 所示。对于以上 3 个解剖结构的体绘制模型构建，可在体绘制模式下，将灰度-颜色映射表中上述 3 个解剖结构的灰度值所对应的颜色属性分别进行设置，如设置为红色、蓝色、绿色，就可得到如图 3B 所示的体绘制模型。

2.3　交互式三维剖切及二维虚拟切片的动态观察

在重建出人脑的体绘制模型后，点击“虚拟剖切”标签页下的“开启”按钮，3D Widget 就会出现在视图展示区中，使用鼠标操纵 3D Widget 的控制轴对模型进行交互剖切，再点击标签页上的“刷新”按钮，结果如图 4A 所示。此时 3D Widget 中剖切平面的方向向量坐标（0.561 493，0.385 212，－0.732 351）和切入点坐标（17.575 237，28.789 782，6.673 919）将显示在标签页的输入框中，对应的二维虚拟切片图像显示在标签页左下方。同时在滑动条的右端显示了当前方向上的切片张数为 60，而在其上方则显示当前虚拟切片的序号为 23。另外，也可向输入框中输入指定的剖切平面方向向量坐标和切入点坐标，然后点击“应用”按钮，直接实现 3D Widget 在三维场景中的精确定位，达到对三维模型的剖切效果。

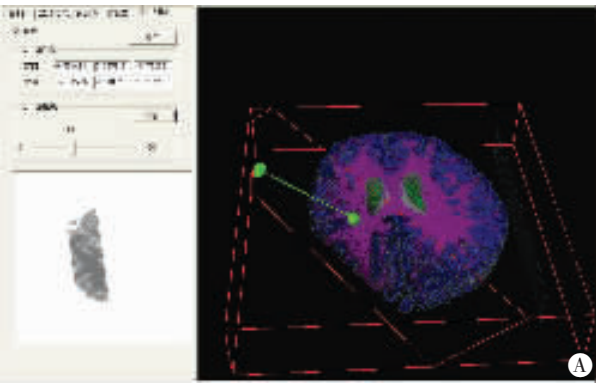


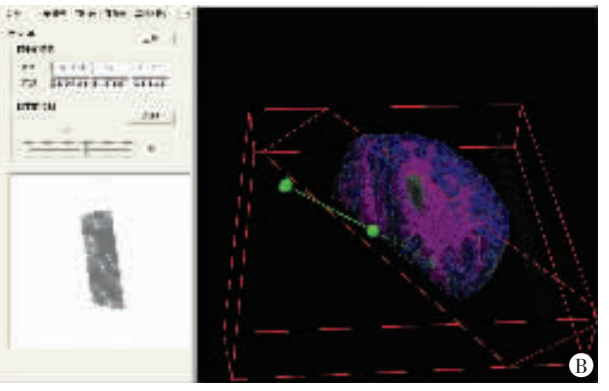


红色：白质；蓝色：灰质；绿色：尾状核

A：多值面绘制模型；B：体绘制模型

图 3　三维面绘制及体绘制模型重建结果





A：序号 23 的虚拟切片；B：动态平移后序号 31 的虚拟切片

图 4　人脑数字模型交互式剖切及虚拟切片显示

调节滑动条可实现虚拟切片在当前方向上的动态平移,图 4B 显示了经平移后序号为 31 的虚拟切片图像。通过该功能,操作者可以沿任意方向观察病灶部位和感兴趣区域的空间位置及形态变化,有助于提高临床医师的诊断水平。

3 讨论

3.1 多值面绘制重建的重要性

对于面绘制三维重建,一般的医学可视化软件如 Amira、3DMed[9] 等都只能进行单阈值重建。而在解剖教学或临床研究中,不仅需要关注单个解剖结构的形态,而且更注重于研究人脑内部各个细微组织结构之间的空间位置关系及解剖学关系。本平台提供的多值面绘制重建功能,允许操作者同时输入任意多个图像阈值,然后重建出对应的解剖结构,并且可以对各个解剖结构单独进行属性设置,这样就可以清晰的显示出各个组织结构形状及其之间的解剖学关系,满足了对单个或多个感兴趣组织进行关联研究的需要。

3.2 数字人脑模型精确交互式三维剖切及任意方位虚拟切片动态观察的重要性

在临床应用中,CT、MRI 等最多只能获得 X、Y 和 Z 3 个互相垂直方向上的断面图像,因此医师难以直观地了解脏器间的相互位置、病灶的相对位置等重要信息,从而提出了对任意切面显示的需求。王卫红等[10] 对虚拟剖切的算法进行了研究,该算法虽实现了任意面剖切,但交互性不足,且未提供对应的二维断面图像信息。付宜利等[11] 实现了基于三维纹理的医学体数据实时切割,但该方法只能通过鼠标交互,且没有对剖切位置提供更精确的说明。本平台克服了以上的不足,在体绘制模式下,将体透视法、三维虚拟剖切、空间动态定位技术相结合,清晰形象地显示出人脑内部结构特征及位置。一方面,通过调节 3D Widget 对人脑数字模型进行任意的精确三维虚拟剖切,并实时显示出相应的二维虚拟切片,实现了对重建模型内部的深度观察。另一方面,平台提供对任意方位二维切片的动态观察功能,打破了一组医学图像数据往往只能观察固定方向的切片的限制,有助于临床医师发现和研究病灶部位的变化情况。

3.3 基于 VTK 的数字人脑可视化平台的优点

与常规的医学图像可视化软件相比,本研究构建的数字人脑可视化平台不仅提供多值面绘制重建、精确的交互式三维剖切及二维虚拟切片的动态观察等强大的可视化功能,还具有更加丰富的交互性操作手段和良好的可扩展性。如在三维剖切的交互性上,本平台给操作者提供了灵活方便的精确定位功能,既可以通过操纵 3D Widget 实现对体模型的剖切,也可以通过手动输入坐标参数实现剖切平面和二维切片的精确定位,有效地弥补了当前医学可视化平台在任意切片控制上精确性和交互性的不足。在可扩展性上,一方面,通过数据库接口可实现解剖、生理等多方面知识的整合,从而为数字人脑的进一步研究提供数据整合规范和平台基础[12]。另一方面,可采用面向对象方法扩展现有功能服务于具体领域。如继承平台中的 CSliceCtrl 类,进一步扩展“虚拟剖切”功能,为构建虚拟手术刀、手术规划提供支持。

目前平台仅支持 DICOM、BMP 等格式数据,对于其他如 WRL、OBJ 等格式数据不支持。如何利用 VTK 强大的体数据处理功能,使平台支持多种数据场的可视化,扩展平台的使用范围是今后的工作方向。

参考文献:

[1] Higgins G, Athey B, Bassingthwaighte J, *et al*. Final report of the meeting“modeling & simulation in medicine: towards an integrated framework”. July 20-21, 2000, National Library of Medicine, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA[J]. Comput Aided Surg, 2001, 6(1): 32-39.

[2] 钟世镇, 李华, 林宗楷, 等. 数字化虚拟人背景和意义[J]. 中国基础科学, 2002, (6): 12-16.

[3] Li Q Y, Zhang S X, Heng P A, *et al*. Segmentation and three-dimension reconstruction of Chinese digitized human cerebrum[J]. Comput Med Imaging Graph, 2006, 30(2): 89-94.

[4] 张绍祥, 刘正津, 谭立文, 等. 首例中国女性数字化可视人体数据集采集与可视化研究[J]. 第三军医大学学报, 2003, 25(5): 394-396.

[5] 张绍祥. 数字化人体与数字医学的研究概况及发展趋势[J]. 第三军医大学学报, 2009, 31(1): 1-2.

[6] Schiemann T, Freudenberg J, Pflesser B, *et al*. Exploring the Visible Human using the VOXEL-MAN framework[J]. Comput Med Imaging Graph, 2000, 24(3): 127-132.

[7] Schroeder W J. The VTK user's guide[M]. New York: Kitware Inc, 2001: 122-150.

[8] 袁杲, 杨玲. Observer 与 Command 模式在 VTK 类库设计中的应用研究[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2007, 33(4): 972-975.

[9] 何晖光, 田捷, 杨骅, 等. 三维医学影像诊断工作站-3dmed[J]. 中国体视学与图形分析, 2001, 6(2): 73-77.

[10] 王卫红, 秦绪佳, 郑红波. 医学图像 3 维重建模型的虚拟剖切算法[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(2): 217-223.

[11] 付宜利, 肖永飞, 高文朋, 等. 基于三维纹理的医学体数据实时切割[J]. 中国生物医学工程学报, 2008, 27(3): 372-377.

[12] Bloch I, Geraud T, Maitre H. Representation and fusion of heterogeneous fuzzy information in the 3D space for model-based structural recognition—Application to 3D brain imaging[J]. Artificial Intelligence, 2003, 148: 141-175.

(收稿 2010-01-26 修回 2010-03-09)

(编辑 王小宴)