

新技术介绍

脊柱虚拟手术系统的构建及功能实现

曹 珺¹, 何 飞², 余伟巍³, 梁祁枫¹, 许 飞¹, 刘纪恩¹

(1 郑州市第一人民医院骨科 450000 郑州市; 2 昆明医学院第一附属医院骨科 650032 昆明市;

3 北京航空航天大学机械工程及自动化学院 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2011.05.12

中图分类号: TP391.4 文献标识码: B 文章编号: 1004-406X(2011)-05-0408-04

脊柱疾病的精确诊疗较困难, 常规医学影像(CT、MRI 等)提供的是二维断层, 诊疗过程需要医生的想像去连接, 经验丰富的医生固然可对病灶的形状及大小进行估算, 但难以精准^[1]。目前, 多层螺旋 CT(multi-spiral computerized tomography, MSCT)三维(three-dimensional, 3D)重建技术对脊柱的精确评价已显现出明确的优势^[2-4], 通过其重建图像进行个体化诊疗设计, 可提高诊断的准确性和治疗的精确性。但 MSCT 工作站并非专用于脊柱外科, 重建软件随机专用, 而且其保存影像数据的医学图像通信(digital imaging and communication in medicine, DICOM)标准格式目前还无法在个人电脑上用常见图像软件读取。因此, 克服 MSCT 工作站在诊疗过程中的不足, 同时又可整合其采集的信息, 构建 3D 医学可视化系统具有现实意义。

在医学可视化领域, 欧美国家在耳鼻颌面外科、矫形外科、神经外科、骨关节外科已开发出多个商品软件^[5], 国内目前尚无成熟的商品化系统, 且针对脊柱外科的可视化系统临床报道较少。

自 2007 年始, 国内学者何飞与北京航空航天大学机械学院合作研发与脊柱手术相关的虚拟系统。该系统采用三维可视化技术, 利用 CT、MRI 等采集的脊柱影像数据, 在计算机中建立一个极具真实感和沉浸感的虚拟环境, 医生借助该环境重

建出脊柱的三维模型, 然后有针对性地进行评估, 继而获得若干用传统手段无法识别的解剖信息, 从而可对疾病进行较为精确的诊疗, 甚至可扩展至教学、技能培训和术后康复等多个面^[6]。现该系统已完成临床测试, 对该系统的构建和功能特点报道如下。

1 系统构建

1.1 VTK 软件包

可视化开发包^[7](Visualization Toolkit, VTK)是目前可视化领域广泛使用的的数据可视化开发工具。它利用 C++ 语言构建, 支持跨平台开发, 包括三维计算机图形学、图像处理和可视化三大技术, 提供了丰富的医学影像处理与分析工具。

1.2 系统构造关键技术

(1) 数据导入技术。目前, 医学图像三维重建大多基于医学图像存档与通信系统, 该系统支持 DICOM 标准^[8], 该标准规定医疗设备贮存医学信息的格式统一为 DICOM 格式。设备上的一个端口就可完成影像数据的输入/输出而不需要转换。

(2) 三维可视化技术。医学图像三维可视化主要是利用 2D 断层图像重构 3D 模型^[9], 它使医务人员对疾病的认识更直观和客观。医学图像可视化技术包括面绘制算法和体绘制算法两大类。面绘制适用于表面特征分明的组织和器官(例如骨骼), 不适用于血管、细支气管等精细组织和器官。体绘制不要求对显示物体做精确的分割, 保留了丰富的机体内部信息, 可以用于人体器官和软组织, 更适合于医学可视化研究。从呈像质量上讲, 体绘制要优于面绘制, 但从交互性能和算法效率上讲, 在目前的硬件平台上, 面绘制明显优于体绘制。

基金项目: 云南省自然科学基金面上项目(2007C242M); 云南省科技计划联合专项(2008C0013R); 昆明市社会发展科技计划重点项目(08S100311)

第一作者简介: 男(1972-), 主治医师, 医学硕士, 研究方向: 颈椎、脊髓损伤、计算机辅助手术

电话: (0371) 66373526 E-mail: caojun2007190@126.com

通讯作者: 何飞 E-mail: drhefei@sina.com

(3)图像分割技术。医学图像分割就是把原始的 2D/3D 图像划分成不同性质(如灰度、纹理等)的区域,从而把感兴趣的区域提取并显示出来,并使它尽可能地接近解剖结果,为临床诊疗和病理学研究提供可靠的依据。医学图像分割技术常采用三维分割方式,主要集中在三维 CT 和 MRI 图像的分割上^[10]。

(4)辅助测量技术。该技术功能的实现包括定比例尺和参数测量两方面。比例尺的精度直接关系到系统的测量精度。因此,在测量已知线段时,可以将图像放大,以提高选取的比例尺精度^[11]。参数测量的重点主要集中在算法的研究上,两点间直线距离采用的算法是平面内两点间距离公式;任意曲线的长度其方法是对分解的若干条折线段长度相加;两直线夹角可用余弦定理求得。

1.3 系统构建

VTK 具有强大的图形处理和可视化功能,但缺乏灵活实用的交互界面,必须结合其他图形用户接口开发库(如 MFC、GTK 等),才能实现真正意义上的可视化系统。MFC(microsoft foundation classes)是 Windows 平台下与系统结合最为紧密、使用最为广泛的开发平台,VTK 与 MFC 集成可较大限度地扩展可视化软件的性能,快速构建可视化系统。VTK 与 MFC 的集成分为以下几种。

(1)快速集成:将 VTK 自身的渲染窗口覆盖于 MFC 应用程序视图区域之上,以达到开发界面的统一。而界面上如旋转、缩放等交互均为 VTK 默认设置,MFC 鼠标响应和消息传递被屏蔽。

(2)深层集成:以可视化系统总体设计和布局为出发点,构建统一界面和统一的编码风格,实现代码的模块化管理,具备友好的交互界面,拥有良好的扩展能力,与多种可视化开发工具集成,可构建专业的医学可视化系统。

以三维可视化基本技术为依托,在 VTK 与 MFC 集成的基础上,构建医学可视化系统,系统被集成 8 个模块(图 1)。

①数据输入及输出模块:该模块可读取 DICOM 格式的医学图像数据,识别 Bmp/Jpg/Png 等常用图像数据及自定义 VTK 格式文件,并可提供图像格式转换和数据压缩/解压,利于网络传输;同时还具备对分割、测量及规划的数据进行存储的功能,减少重复劳动。

②图像处理模块:该模块可用于可视化数据

的前置处理,实现对医学图像区域的拾取和分割、图像几何的变换、图像增强、形态变换和图像边缘轮廓提取、图像分析等预处理,还可以进一步扩展图像分割和配准等高级模块。

③2D 图像阅片模块:该模块负责对轴位、冠状位、矢状位 2D 图像的单张/多张图片浏览,可以调节单张切片的窗宽和窗位,以及实现图片的平移缩放等功能。

④3D 重建模块:该模块是本系统核心模块,以体绘制和面绘制为关键技术负责 2D 断层图像重构 3D 模型,其中面绘制主要利用移动立方体法及其改进算法来实现;体绘制主要利用光线投射算法及其改进算法、错切-变形算法及其改进算法实现,并添加纹理功能,使 3D 图像真实感加强。

⑤标定测量模块:该模块用于辅助手术规划,对感兴趣部位的定位和标记,在 2D 和 3D 空间中交互来快速定位该位置,并可对兴趣部位进行距离、角度面积等指标测量。

⑥切割剖分模块:该模块可实现模型的面切割、体切割和开窗等功能,从而可探究感兴趣部分的内部结构。通过鼠标模拟虚拟手术刀的模式,实现面绘制和体绘制对象的立方体平面切割、任意路径切割和开窗操作等,并可便捷地移动切除分割的部分,同时提供临时保留功能。快速切割与不规则任意切割配合应用,可实现目标区完全显露,达到最佳切割效果,同时对切割后图像进行捕获及分离操作,模拟脊柱矫形及复位,可用于辅助手术规划及教学培训等。

⑦2D/3D 形变匹配模块:该模块为待开发模块,拟实现手术过程中 2D、3D 空间信息交换和模型形变过程,如实反应手术进程。

⑧知识库模块:该模块主要功能用于提供虚拟手术器械、用户培训和医学知识管理。

2 功能特点

本系统借鉴了 MSCT 工作站容积成像和多平面重组技术实现脊柱 3D 重建。容积成像的图形立体直观、层次分明,结构容易辨认,同时可针对目标区使用切图工具去除非目标区的结构,任意方向动态旋转,3D 呈现病灶的整体情况及与相邻组织器官之间的空间对应关系,结合图像分割技术,还可反映病灶内的空间构象和准确位置。多平

面重组图像边缘对比度清晰、可信度高,可实现任意剖面内部细节的显示,其 3D 空间构象和切除旋转功能相对 X 线片减少了伪影、消除了图像遮挡,组织分辨率高,其冠状位、矢状位和轴位的立体动态成像较 CT 及 MRI 断层显像提供的信息更全面、具体和连续。

系统实现了脊柱的 3D 重建、切骨、旋转、虚拟置钉和测量等功能(图 2)。结合重构算法的改进和纹理功能增添,使三维模型呈像质量较 MSCT 工作站有一定提高(图 3)。系统操作界面特置了 5 个窗口:1 个 3D 观察调整窗口,3 个 2D 定位窗口及 1 个 2D 测量窗口。通过 3D 窗口的有效观察,确定兴趣目标,去除非目标区,快速调整和

细微调谐相结合,测量切割平面的各项参数,同时,在 3 个 2D 定位窗口(包括轴位、矢状位、冠状位窗口)上,调动任一窗口位置,其他两个窗口将随之至相同参数的剖面,而测量窗口亦跟随做相应变化,这样测量窗口中的测量层面可由 3 个定位窗口共同协调,较大限度地减少了二维空间观察不全面所造成的测量误差(图 4)。本系统钉道测量采用螺钉标示辅助,通过螺钉的放大/缩小及延长,相对 MSCT 工作站目测法减少了人为因素;本系统设有专用的 2D 测量窗口,在该窗口内可以实现图像局部放大而不影响其他窗口的图像显示,测量结果更准确^[12]。

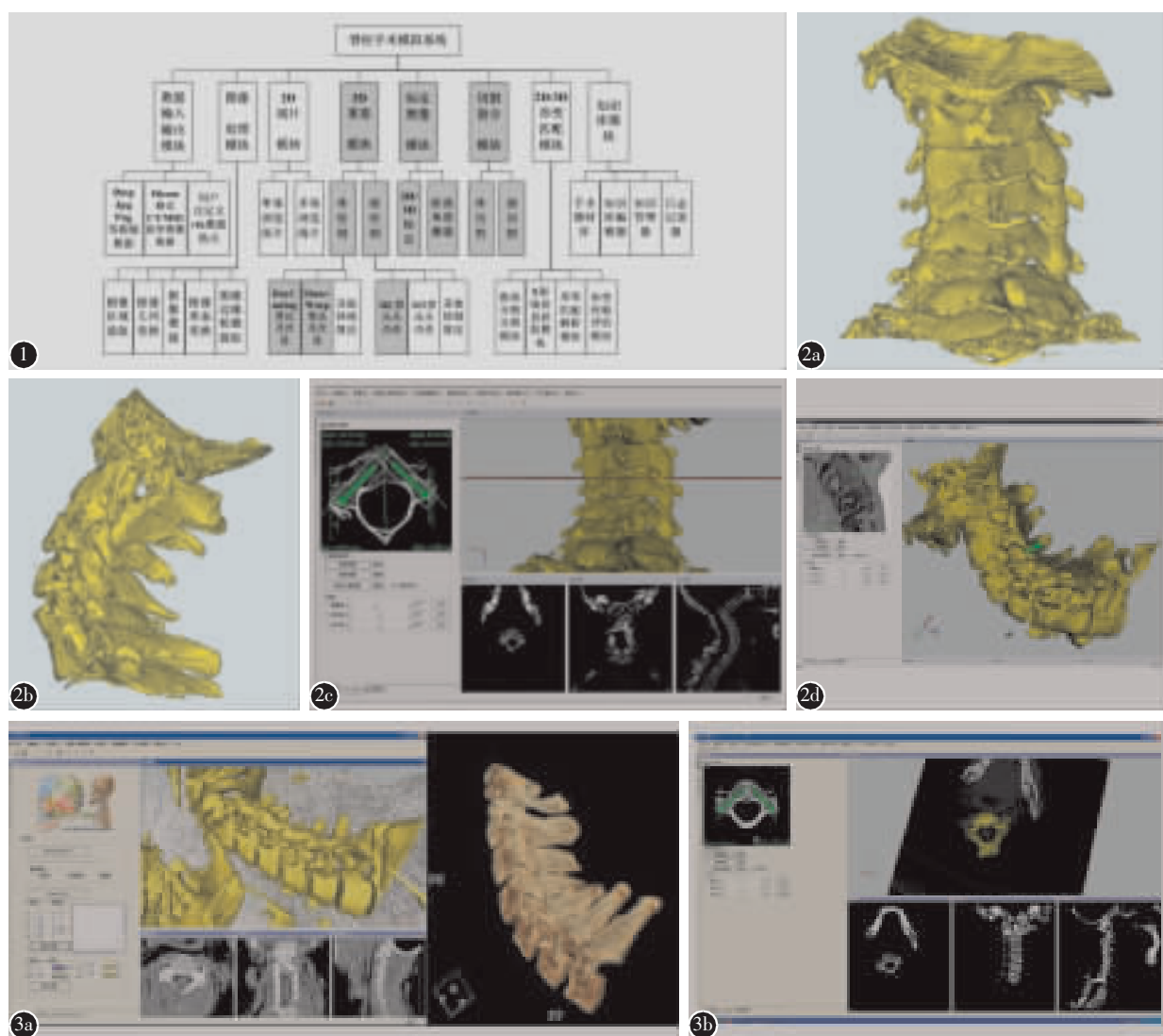


图 1 脊柱虚拟手术系统功能模块结构图 图 2 应用虚拟手术系统实现脊柱的 3D 重建(a)、旋转(b)、测量(c)和虚拟置钉(d) 图 3 同一 DICOM 格式医学图像数据两系统重建图像比较(a 为本系统重建图, b 为多层螺旋 CT 重建图,放大后图像质量下降)



图 4 同一数据两系统椎弓根参数的三维测量图像比较(a~c 本系统专职 2D 测量窗口可实现测量图像局部放大,并有螺钉标识辅助;d~f MSCT 系统 3 个剖面重建测量图像位于同一窗口,测量目标显示小,无螺钉辅助测量)

3 展望

本系统是针对 MSCT workstation 在脊柱疾病诊疗过程中交互性和针对性的不足而研发,系统以 MSCT 采集的数据为信息源,以 VC6.0 为开发环境,用面向对象的 C++ 语言结合 VTK 软件开发包,建立基于 PC 环境的可视化脊柱手术专用虚拟系统,以便辅助临床医生对脊柱疾病实施准确的诊断和精确的治疗。

本系统针对性强,同时兼顾了良好的交互性和便捷性。系统使脊柱的三维重建、旋转、切骨和测量等基本功能在个人电脑上得以虚拟实现,摆脱了 CT 工作站的束缚,以利医疗交流、医患沟通;整合 MSCT 采集的信息,提高 CT 使用率;个体化治疗设计,特别是手术有客观数据指导,可提高手术安全性;系统采用 3D 和 2D 视图交互方式,便于快速定位兴趣区;专职 2D 测量窗口和螺钉虚拟置入功能进一步提升测量精确性;虚拟螺钉可使临床医生在术前进行手术模拟演练,对提高手术技能和手术安全性有较大意义。

目前,该系统许多功能仍在不断整合中,后续将扩展实现自动 2D/3D 配准、术中引导等功能,为目前难以治疗或不能治疗的脊柱患者提供一个治疗机会。同时在临床教学、技术培训及评估、学术交流、远程医疗等方面也将有很大的应用空间。

4 参考文献

1. 魏娜,王珏,刘明宇.基于 VisualizationToolkit 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):10-12.
2. Sakamoto T,Neo M,Nakamura T. Transpedicular screw placement evaluated by axial computed tomography of the cervical pedicle[J].Spine,2004,29(22):2510-2515.
3. 何飞,代耀军,曹珺,等.应用螺旋 CT 三维重建技术提高置入胸椎椎弓根钉一次性成功率和准确性[J].创伤外科杂志,2009,11(2):119-123.
4. 曹珺,代耀军,何利平,等.MSCT 3D 技术辅助下颈椎椎弓根置钉准确性的实验研究[J].中国修复重建外科杂志,2010,24(5):525-530.
5. Arand M,Hartwig E,Kinzel L,et al. Spinal navigation in cervical fractures;a preliminary clinical study on Judet-osteosynthesis of the axis[J].Comput Aided Surg,2001,6(3):170-175.
6. Volter S,Kramer KL,Niethard FU,et al. Virtual reality in orthopedics:principles,possibilities and perspectives [J].Z Orthop Ihre Grenzgeb,1995,133(6):492-500.
7. Ken Martin.Visualization toolkit [DB/OL]. <http://www.vtk.org>, 1993-12-10.
8. 田捷,赵明昌,何晖光.集成化医学影像算法平台理论与实践[M].北京:清华大学出版社,2004.183-210.
9. Judupa JK,Herman GT.3D Imaging in Medicine(2nd Edition) [M].Florida:CRC Press,1999.1-73.
10. Viergeer MA, Maintz JB,Niessen WJ,et al.Registration,segmentation and visualization of multimodal brain images[J].Comput Med Imaging Graph,2001,25(2):147-151.
11. 杨波,朱新亚,王健琪,等.医学图像计算机辅助测量系统的设计[J].第四军医大学学报,2001,22(5):478.

(收稿日期:2010-11-08 修回日期:2010-12-01)

(本文编辑 彭向峰)