

# 肝脏及内部管道的可视化和三维交互式测量

黄展鹏<sup>1</sup>, 鲍苏苏<sup>2</sup>, 蒋世忠<sup>1</sup>

HUANG Zhan-peng<sup>1</sup>, BAO Su-su<sup>2</sup>, JIANG Shi-zhong<sup>1</sup>

1. 广东药学院 医药信息工程学院, 广州 510006

2. 华南师范大学 计算机学院, 广州 510631

1. College of Medical Information Engineering, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China

2. School of Computer, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

E-mail: toozhanpeng@hotmail.com

**HUANG Zhan-peng, BAO Su-su, JIANG Shi-zhong. Visualization and measure of liver and its internal piping based on 3D interactive techniques. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(22): 169-171.**

**Abstract:** The study of 3-dimensional (3D) visualization of liver and its internal piping is important to hepatobiliary surgery. Based on the common 2D device, a system is designed for 3D interactive controlling according the analysis of the dispatching and processing of the VTK messages. In this system, the distance between liver and its internal piping can be conveniently measured in any directions, which can effectively resolve the shortcoming of distance measuring in appointed planes and improve the accuracy of measuring, so it has a wide application area of aided clinical diagnosis, surgery plane and medical research, etc.

**Key words:** the Visualization ToolKit (VTK); interactive control; 3D visualization

**摘要:** 对肝脏和内部血管进行三维重建和三维空间距离的测量对于肝胆外科有重要的意义。在对 VTK 消息传递和处理进行分析的基础上, 基于当前的二维设备, 设计了一个可视化和三维交互式控制的距离测量系统, 能够直观地观察体数据的各个截面, 同时实现对肝脏及内部管道之间三维空间距离的测量, 克服了当前系统中只能在某个固定的平面上测量的缺点, 有效地提高了测量的精确度, 在辅助临床诊断、手术规划和医学研究等领域中有较好的应用前景。

**关键词:** 视觉化工具库 (VTK); 交互式控制; 三维可视化

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.22.055 **文章编号:** 1002-8331(2009)22-0169-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 引言

肝脏是人体内部最大、功能最多且无法替代的重要脏器, 肝脏及其内部管道系统的外科应用解剖是实施肝脏外科手术的前提和基础。肝脏疾病诊断和手术规范大多基于二维平面图像, 不能完全、真实地反应肝脏及其内部管道系统的三维信息, 导致疾病诊断和手术指导有一定的盲目性。当前有基于 CT 数据的肝脏可视化系统的报道<sup>[1-2]</sup>, 对指导肝脏外科手术起了一定的作用, 但是没有涉及肝脏和内部管道之间的距离测量。

三维交互技术和设备的研究在我国起步较晚, 和国外的差距较大, 特别是在三维体数据的交互功能设计和三维交互工具的硬件开发上<sup>[3]</sup>。目前体数据的三维交互有三维硬件设备直接交互和软件实现的交互算法两类, 在三维交互硬件上国外已有成熟的产品, 如 Sansable 公司的 FreeForm 等设备可以实现三维空间内的交互和力觉反馈<sup>[4]</sup>, 国内也有基于该设备进行手术模拟的研究<sup>[5]</sup>, 但是价格昂贵, 几乎不可能为每个工作站配置, 而利用当前二维设备设计三维交互式算法不需要购买特殊的

设备, 而且对于大多数没有经过严格三维空间想象力训练的用户来说, 他们需要的是真正符合感知规律的、使用方便的三维交互手段, 而软件方法能满足这种需求<sup>[6]</sup>。

基于微机通常配置的鼠标, 设计了一个肝脏三维可视化和交互式控制测量系统, 在绘制出肝脏及其内部管道的基础上, 实现交互式地在任意方向上对肝脏体积和肝脏及内部管道之间的距离进行测量, 达到较高的测量精确度, 提高肝脏外科手术的精确定性和安全性。

## 2 三维空间中交互控制工具的设计

在三维交互式控制中, 由于鼠标是在桌面上的二维运动只反映光标在屏幕上的二维运动, 因此鼠标事件获得的信息为屏幕上的二维坐标。因为光标在二维屏幕的一个点对应三维场景中的无穷多个点, 单纯利用鼠标是很难实现三维交互的, 因此必须进行相应的三维变换。

利用鼠标进行二维空间的移动和选取等操作, 在三维空间

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA02Z346); 广东省自然科学基金研究团队项目(No.粤科基办字[2006]5号)。

**作者简介:** 黄展鹏(1980-), 男, 硕士, 研究方向: 医学图像处理、三维可视化; 鲍苏苏(1951-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 图像处理、模式识别、虚拟手术等; 蒋世忠(1972-), 男, 硕士, 研究方向: 人工智能、医学图像处理。

**收稿日期:** 2008-05-29 **修回日期:** 2008-08-04

内设计一个小球作为三维交互式控制工具,以表示控制点在三维空间的位置。鼠标的移动驱动小球在视觉坐标系中的移动,和视觉坐标平面垂直方向上的运动由鼠标的滚轮控制,旋转操作是由鼠标的选择和移动促发的,但旋转的角度是由小球的移动位移确定。

### 2.1 视觉坐标系和物体坐标系的转换

由于基于物体坐标系的交互式控制工具的移动和前后操作不直观,此设计基于视觉坐标平面进行的鼠标平移和滚轮移动的操作,以更直观的方式进行三维交互。但体数据进行平移、旋转等操作后,其物体坐标系和视觉坐标系不一定完全一致,因此必须进行视觉坐标系和物体坐标系的转换。

用三维齐次坐标和 4x4 矩阵的乘积表示三维几何变换,并分别用  $R, T$  和  $S$  表示旋转、平移和缩放。如图 1 所示,先对物体作平移和绕轴旋转变换,使得所绕之轴与某一根标准坐标轴重合。然后,绕该标准坐标轴作所需角度的旋转。最后,通过逆变换使所绕之轴恢复到原来位置。这个过程需由 7 个基本变换的级联才能完成。对  $y$  轴的旋转为  $\beta$  角,计算如下:

$$\cos \beta = u_3/a \quad \sin \beta = u_1/a \quad (1)$$

其中  $[u_1, u_2, u_3] = [p_1 - p_2]$ ,  $a = \sqrt{u_1^2 + u_3^2}$ ,  $b = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$ ,  $c = \sqrt{u_2^2 + u_3^2}$ 。绕  $x$  轴旋转的角度为  $\mu$ , 计算公式如下:

$$\cos \mu = \frac{a}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}}, \quad \sin \mu = \frac{u_2}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}} \quad (2)$$

综合式(1)和(2),最终的变换矩阵为:

$$T^{-1}R_y(\beta)R_x(-\mu)R_z(\alpha)R_x(\mu)R_y(-\beta)T \quad (3)$$

由变换矩阵和三维齐次坐标的乘积可计算由物体坐标系到视觉坐标系的坐标点,计算视觉坐标点到物体坐标点的变换只需要先对变换矩阵求逆后再乘。

### 2.2 基于三维跟踪球算法的三维旋转控制

在体绘制中常常需要利用交互控制工具进行交旋转操作,以展示体数据在各个方向上的特性。当前利用二维设备进行三维交互的算法有虚拟旋转控制器和三维跟踪球算法等,基于三维跟踪球算法<sup>[7]</sup>控制三维体数据的旋转,它可以绕三维空间任意轴进行旋转。图 2 是三维跟踪球旋转的示意图,如果触摸点为  $P$  点,沿着切线方向  $d$  进行旋转,其旋转轴  $a$  可表示为  $a = OP \times d$ , 其中  $O$  是跟踪球的中心,  $OP$  为  $O$  点指向  $P$  点的矢量。故要先确定旋转轴和旋转角度。

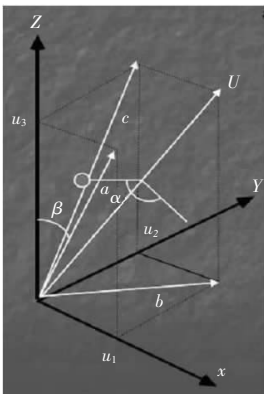


图 1 三维几何变换

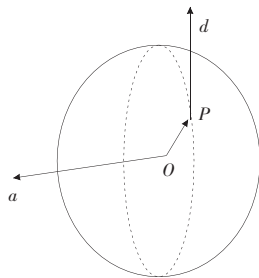


图 2 跟踪球的旋转

图 3 是一个三维跟踪球的二维投影,  $O'$  是圆心,  $P'$  是旋转的起始点,  $\omega$  是移动方向。如图 3(a) 所示最简单的情况, 当  $P' = O'$ ,  $d'$  和  $x$  轴的交角为  $\tau'$ , 这时三维旋转轴在  $xy$  平面上的方向

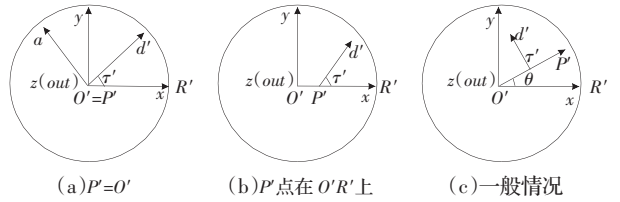


图 3 三维跟踪球二维投影

可表示为:

$$a(x, y, z) = [-\sin \tau', \cos \tau', 0] \quad (4)$$

对于稍复杂的情况图 3(b),  $P'$  点和  $O'$  点在连线  $O'R'$  上, 这时的旋转轴可以根据式(4)再绕  $y$  轴旋转一定的角度  $\omega$  得到:

$$a(x, y, z) = [-\sin \tau', \cos \tau', 0] \begin{bmatrix} \cos \omega & 0 & -\sin \omega \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \omega & 0 & \cos \omega \end{bmatrix} \quad (5)$$

这里  $\omega$  近似认为  $\omega = f\left(\frac{|O'P'|}{|O'R'|}\right)$

$$f(x) \text{ 为函数 } f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & 0 < x < 1 \\ 90^\circ, & x \geq 1 \end{cases}$$

对于图 3(c) 所示的一般情形, 图中  $O'P'$  和  $x$  轴成  $\theta'$  角,  $d'$  和  $x$  轴的交角为  $\theta' + \tau'$ , 这可以看作在前面式(5)的基础上再绕  $z$  轴旋转  $\theta'$  角度:

$$a(x, y, z) = [-\sin \tau', \cos \tau', 0] \begin{bmatrix} \cos \omega & 0 & -\sin \omega \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \omega & 0 & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta' & 0 & -\sin \theta' \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta' & 0 & \cos \theta' \end{bmatrix} \quad (6)$$

由上式(6)可以确定旋转轴, 则旋转矩阵可表示为:

$$R_a(\varphi) = \begin{bmatrix} ta_x^2 + c & ta_x a_y + sa_x & ta_x a_z - sa_x \\ ta_x a_y - sa_x & ta_y^2 + c & ta_y a_z + sa_y \\ ta_x a_z + sa_x & ta_y a_z - sa_y & ta_z^2 + c \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中  $a_x, a_y, a_z$  为  $a$  在  $x, y, z$  三个轴的分量,  $s = \sin \varphi$   $c = \cos \varphi$   $t = 1 - \cos \varphi$ ,  $\varphi$  为绕轴旋转的角度。

### 3 系统功能的实现

在腹部 CT 图像系列数据进行分割等处理的基础上, 分别分割出肝脏的轮廓、肝静脉、门静脉、肝动脉和胆管, 借助于 VC 6.0 平台, 基于 VTK 软件开发包, 实现在微机上对肝脏轮廓和内部管道进行绘制。基于上述的算法, 设计了利用鼠标进行三维交互式控制工具, 控制小球在三维空间中的移动及旋转, 如图 4 所示。可以测量肝脏的大小和内部管道间的距离, 如果采

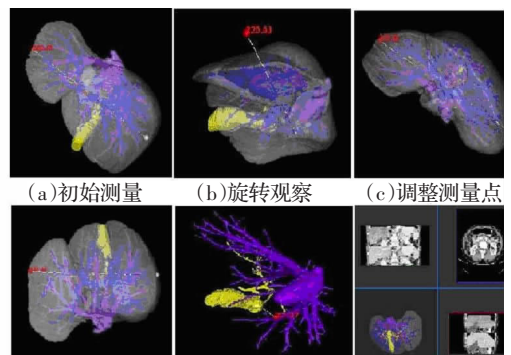


图 4 系统运行效果图

用截面的方式测量的值不准确, 因为从截面获取的信息并不能充分展示其在三维数据中的位置。基于三维交互式控制系统, 可以测量到任意截面的长度情况, 而基于用户坐标系的设计使得操作更直观。

图 4(a) 在一个三维平面上测量肝体的宽度, 在当前的视觉已经比较吻合, 但进行三维旋转后(b)图发现其测量的结果并不准确, 这时可以使用鼠标分别控制两边的三维控制点进行调整, 直到得到在各个方向上都符合的测量线, 如(c)和(d)所示, (e)图表示测量胆囊和最近肝静脉的距离, (f)呈现出肝脏 CT 图片的内部信息, 系统中距离的单位为毫米。

#### 4 结论

原发性肝癌或肝转移瘤的基本治疗手段是实施肿瘤切除, 研究肝脏及内部管道的空间距离关系是为了以最小的失血量完成肿瘤的切除和尽量减少对健康肝脏组织的管道系统的损伤, 同时肝脏体积的大小对于肝脏功能的判定也有重要的指导意义。

基于二维轮廓图片进行三维可视化和交互式控制是实现辅助医疗系统和虚拟手术的基础, 提出利用微机必备的鼠标进行交互式的方式, 便捷地实现了在肝脏及其内部管道的可视化和三维空间中点的控制, 同时通过视觉坐标系到世界坐标系的

转换, 使用户能直观地进行交互, 清晰地展示了肝脏及管道之间空间关系, 增强了对手术规划的指导作用。下一步的工作将研究三维空间的交互式分割技术和虚拟手术平台的构建。

#### 参考文献:

- [1] 张建勋, 韩逢庆, 纪纲. 基于 CT 图像的肝脏及其内部管道可视化系统[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(31): 222-225.
- [2] 朱新勇, 方驰华, 鲍苏苏, 等. 基于 64 排螺旋 CT 扫描数据的肝脏图像分割和三维重建[J]. 南方医科大学学报, 2008, 28(3): 345-352.
- [3] 王文成, 吴恩华. 基于色彩分布合成的交互式可视化方法[J]. 计算机学报, 1998, 21(增刊): 323-330.
- [4] Machover C. Top 10 hardware and software products of 2002[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2003, 23(1): 92-93.
- [5] 方驰华, 唐云强, 鲁朝敏, 等. 胆囊切开取石和胆囊切除术的可视化研究[J]. 南方医科大学学报, 2008, 28(3): 356-359.
- [6] Chen M. A study in interactive 3D rotation using 2D control device[J]. Computer Graphics, 1998, 22(4).
- [7] 石教英, 蔡文立. 科学计算可视化算法与系统[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 231-234.
- [8] Schroeder W, Martin K, Lorensen B. The Visualization Toolkit - An object-oriented approach to 3D graphics[M]. 3rd ed. Kitware: [s.n.], 2002.

(上接 67 页)

率很高。由于传递信息是通过安全信道, 安全性可以得到保证。

Amir Herzberg 的子秘密更新方案相当于  $n$  个参与者协商了一个常数项为零的  $t-1$  次多项式, 给出参与子秘密更新的参与者少于门限值  $t$  也可以进行子秘密更新, 并具有更好的灵活性和执行效率。进一步考虑, 对于参与子秘密更新的人数大于或等于门限值时, 即  $k \geq t$  时, 此方案仍可以更新子秘密, 但是门限值却会发生变化, 不太适合需要保持门限值不变的场合, 没有  $k < t$  时方案更加灵活。

#### 参考文献:

- [1] Shamir A. How to share a secret [J]. Communications of the ACM,

1979, 22(11): 612-613.

- [2] Blakley G R. Safeguarding cryptographic keys [C]//Proc AFIPS 1979 National Computer Conference, New York, NY, June 1979: 313-317.
- [3] Herzberg A, Jarecki S, Krawczyk H, et al. Proactive secret sharing or: How to cope with perpetual leakage [C]//LNCS963: Proc CRYPTO1995. [S.l.]: Springer Verlag, 1995: 339-352.
- [4] 甘元驹, 谢仕义, 付东洋, 等. 防欺诈的动态  $(t, n)$  门限多秘密共享方案[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2006(6): 131-134.
- [5] 黄东平, 王华勇, 黄连生, 等. 动态门限秘密共享方案[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006(1): 102-105.
- [6] 肖立国, 钟诚, 陈国良. 基于椭圆曲线密码体制的动态秘密共享方案[J]. 微电子学与计算机, 2002(1): 30-35.

(上接 155 页)

- [2] Zhang Z, Blum R. A categorization of multiscale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(8): 1315-1326.
- [3] Kingsbury N. The dual-tree complex wavelet transform: A new technique for shift invariance and directional filters [C]//Proceedings of 8th IEEE DSP Workshop, Bryce Canyon, UT, USA, 1998: 86-89.
- [4] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: An efficient directional multiresolution image representation[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [5] Cunha A L, Zhou J, Do M N. The nonsubsampled contourlet trans-

form: Theory, design, and applications[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(10): 3089-3101.

- [6] Lallier E, Farooq M. A real time pixel-level based image fusion via adaptive weight averaging [C]//The 3rd International Conference on Information Fusion, Paris, France, 2000.
- [7] Candès E J, Donoho D L. Curvelets: A surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges [C]//LSchumaker L. Curves and Surfaces. Nashville: Vanderbilt University Press, 1999.
- [8] Chu Heng, Li Jie, Zhu Wei-le. Image fusion scheme based on local gradient [C]//Proceedings Communications, Circuits and Systems, 2005: 528-532.