

Web 模式的医学断层图像三维重建*

宋志坚, 李文生, 左焕琛

(复旦大学 数字医学研究中心, 上海 200032)

E-mail: zjsong@shmu.edu.cn

http://www.shmu.edu.cn

摘要: 实现了基于 Web 的医学图像三维重建及显示. 用超高速 CT 扫描获得人体器官的二维图像, 基于 Java Applet 与 Java Application 编程, 采用体绘制法完成二维图像的三维重建与显示. 重建实现了在 Internet 上以 Web 模式跨平台运行. 重建的三维图像能够清晰地显示人体器官的解剖结构, 尤其是心脏的整体形态及冠状动脉的走向. 用 Java Applet 与 Java Application 实现基于 Web 的医学图像三维重建是可行的, 并对三维图像的临床应用起到了推动作用. 通过三维重建显示人体器官的立体形态, 尤其是冠状动脉的解剖结构, 在临床上具有很大的参考价值.

关键词: 计算机网络; 全球信息网; 三维重建; 心脏

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A

三维重建可将由 CT, MRI, PET 等生成的断层图像重建成三维医学图像, 使人们能够直接观察到活体内部器官的组织结构. 它在提高疾病诊断的准确性、协助医生制订外科手术方案以及放射治疗准确定位方面具有重要的临床应用价值. 20 世纪 80 年代初, 三维重建研究取得了快速发展, 其基本概念及研究方法初步形成了. 近年来, 相关学科不断发展, 并开始应用于生物学标本结构研究、医学器官结构、形态特征研究以及放射医学等领域. 但是, 随着信息时代的到来, 人们发现传统的三维重建技术越来越不适应信息化社会的需求, 突出表现在, 传统三维重建技术均基于特定平台与地点, 重建资源不能共享, 造成应用成本提高、效益下降. 欲解决这一问题, 必须使三维重建能够基于网络运行, 提出与网络运行相适合的三维重建算法. 以往的三维重建研究大多没有考虑上述问题^[1,2]. Clapworthy^[3]提出了基于 Web 的网络三维重建思想, 但最终未展示出其网络运行结果. Formiconi^[4]基于 Web 完成了对 SPECT 断层图像的三维重建, 但其精度远远不能满足临床要求, 而且没有实现真正意义上的基于 Web 的跨平台运行.

本研究采用 Java 编程, 通过超高速 CT 获得人体器官断层图像, 分别重建出了心脏、头颅、颈椎、骨盆的三维结构. 在心脏重建结果中还可以观察到心脏的整体形态和冠状动脉的解剖结构. 同时, 重建可以基于 Web 在 Internet 上运行, 实现了独立于平台的网络医学断层图像三维重建. 这基本上解决了医学图像处理的资源共享与网络三维显示问题.

* 收稿日期: 1999-12-01; 修改日期: 2000-06-26

基金项目: 上海市科技发展基金资助项目(00JC14043); 上海市曙光计划资助项目(SG9822)

作者简介: 宋志坚(1960-), 男, 山东莱阳人, 博士, 教授, 主要研究领域为医学图像处理, 人体虚拟手术; 李文生(1966-), 男, 安徽淮南人, 博士生, 主要研究领域为人体心血管解剖, 多媒体技术; 左焕琛(1941-), 女, 湖南湘阴人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为人体心血管解剖, 多媒体技术.

1 三维重建方法

1.1 CT 断层图像的获得

以心脏扫描为例. 受检者仰卧于 CT 扫描台上 (Imatron-150 型超高速 CT), 经前臂静脉注射非离子型造影剂 (含碘量为 300g/l), 注射量为 1ml/kg, 注射速度为 1.2ml/s. 造影剂注射 12s 后, 由心电触发 (触发点控制在 R-R 间隔 80% 处), 从心底到心尖连续扫描 35~45 层, 扫描层厚 3mm, 每层扫描时间为 0.1s. 扫描结束后, 通过 DICOM 将断层图像转存至工作站中.

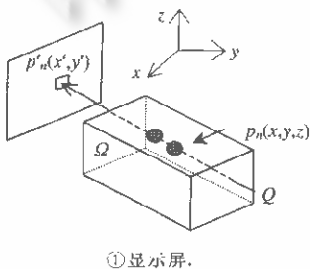
1.2 三维图像的形成

采用光线投射法^[5,6]形成三维图像, 其原理如图 1 所示. 建立三维坐标系 xyz , 设 Ω 为人体器官的三维数据场, xz 平面为最终三维图像的显示屏, Q 为三维图像的视点, 视点距显示屏的距离为 q . 由视点 Q 穿过三维数据场 Ω 及显示屏每一像素点发出若干条射线, 设某射线与显示屏的交点为 $p'_n(x', y')$, 则三维数据场 Ω 中必有 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n, \dots, p_m$ 个数据落在射线 $\overline{Qp'_n}$ 上, 且 $p_n(x, y, z)$ 与 $p'_n(x', y')$ 的关系如下 (取 Q 在 y 轴上):

$$x' = x / (1-h), \quad z' = z / (1-h).$$

其中

$$h = y/q < 1.$$



①显示屏.

Fig. 1 Diagram of 3D imaging
图 1 三维重建原理图

在模仿 x 射线透视投影的过程中, 不同的器官组织在 x 射线下因反射率和吸收率的不同而成像的现象, 通过 Ω 中体素的颜色值和不透明值这两个物理量来描述这一成像原理, 即以 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n, \dots, p_m$ 为采样点, 由其 CT 值推算三维图像中 $p'_n(x', y')$ 处的像素灰度值 $G(x', y')$. 具体算法是, 对各采样点八邻域数据的 CT 值及不透明值作非线性插值, 求出作为各样点的颜色值 $C_n(x, y, z)$ 和不透明值 $a_n(x, y, z)$. C_n 的计算是由中心差分法得到各采样点的法向量, 再用 Phong 光照模型计算得出的. a_n 用下式计算:

$$a_n(x, y, z) = \{a_1[ct(x, y, z) - ct_{f_1}] + a_2[ct_{f_2} - ct(x, y, z)]\} / (ct_{f_1} - ct_{f_2}).$$

其中 ct_{f_2} 和 ct_{f_1} 是某器官的 CT 值范围, $ct(x, y, z)$ 是 Ω 中相应像素处的 CT 值, $ct_{f_1} < ct(x, y, z) < ct_{f_2}$.

在得到每一样点的颜色值和不透明值以后, 从前往后依次将每一样点的颜色值按下面的公式进行合成, 得到最终像素点 $P'_n(x', y')$ 处的灰度值.

$$C_{n+1} = C_{n-1}a_{n-1} + C_n a_n (1 - a_{n-1}),$$

$$a_{n+1} = a_{n-1} + a_n (1 - a_{n-1}).$$

对每一射线循环重复上述过程则可以计算出二维图像每一像素点的灰度值, 从而最终形成三维图像.

2 网络重建原理

与局域网相比较, 在 Internet 环境下系统通信带宽参差不齐, 速度不一. 因此, 要求重建系统在图像重建过程中必须减少其通信量. 单一的 Java Applet 运行模式难以满足网络重建的需求. 首先, 它势必导致客户端程序庞大, 需要通过网络下载的 Java Applet 字节量很大, 系统运行速度下降, 可

靠性降低。其次,由于Java技术的安全性限制,Java Applet程序只能与源宿主主机进行通信,只能针对位于源宿主主机上的图像文件进行读写操作,这就使得系统的灵活性下降,临床应用受到很大的限制。本研究采用三层应用结构来完成基于Web的医学图像三维重建,系统结构如图2所示。系统的第1层为用户通信程序,负责用户界面显示、重建参数传送、发送重建请求、接收重建结果等。它位于Web服务器中,由Java Applet组成。第2层包括服务器通信程序和三维重建程序两部分,由Java Application组成。服务器通信程序负责接收用户通信程序传输的重建参数与重建请求,并将三维重建程序的计算结果输送给用户通信程序;三维重建程序负责完成断层图像的三维重建。组成。第3层由图像数据库组成。图像数据库的结构有两种形式:一种是以用户机作为图像服务器,此时用户必须以服务器身份连入Internet,欲重建的断层图像放在服务器指定的目录中;另一种是单独建立与重建服务器直接连接的图像服务器,此时用户必须将欲重建的断层图像上载到图像服务器指定的目录中。服务器通信程序利用Java的多线程机制,可以同时接收多个用户(Java Applet)发送的请求。三维重建程序根据Java Applet的请求,同一时刻只能建立1个类对象,从而将多用户并行到达的请求串行化,以保证每次只能有1个线程与三维重建程序通信。系统的工作过程如下:首先用户利用Web浏览器,通过重建主页向Web服务器发出重建请求,并将用户通信程序下载到内存,通过用户界面发送有关重建参数(图像名称、断层数量、观看角度、断层图像网址)给服务器通信程序,当三维重建程序利用服务器通信程序接收到有关参数后,建立重建类对象,完成断层图像的三维重建,重建结果通过服务器通信程序输送给用户通信程序,并将最后的结果显示在用户端的Web浏览器上。

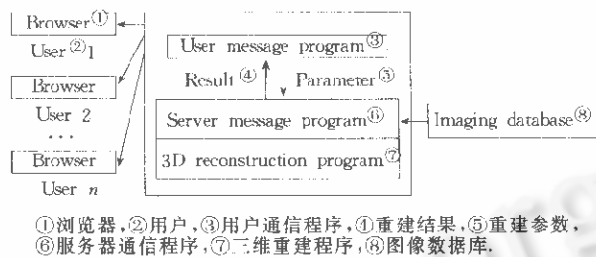


Fig. 2 Block-Diagram of 3D reconstruction based on client/server mode
图2 Client/Server模式网络重建原理图

3 结果

图3是三维重建在Internet Explorer 5.0浏览器上运行的剪切结果。客户端硬件环境为PentiumII-350/128M微机,服务器端硬件环境为SunSparc100/128M工作站。网络运行环境ATM/155M校园网(其中图3(a)、(b)为心脏正面观,图3(c)为冠状动脉,图3(d)、(e)为头颅,图3(f)为颈椎,图3(g)为骨盆)。

4 讨论

本文的研究工作采用Client/Server模式,通过Java Applet与Java Application的通信,使三维重建系统成为三层应用软件结构,使得用户在基于网络从事三维重建时,需要通过网络直接下载的部分只是用户通信程序,并且在网上频繁传输的也只是重建参数与重建结果,从而降低了系统传输的通信量,提高了系统的运行速度和可靠性。同时,由于Java Application不存在安全机制问题,可以直接实现对用户端断层图像的重建,提高了系统的灵活性。

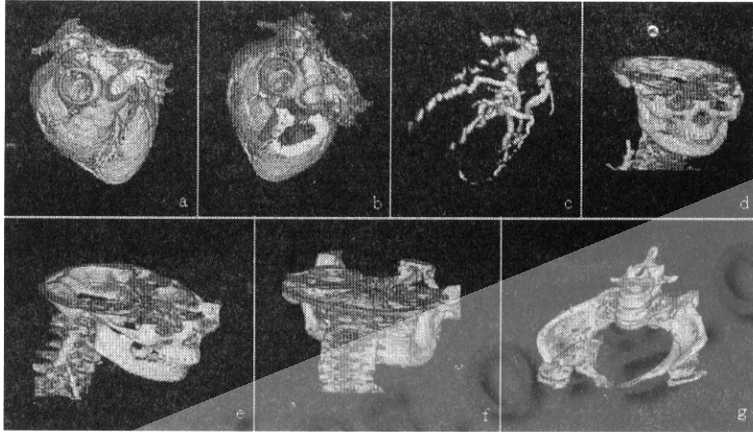


Fig. 3 Results of 3D reconstruction shown on Web
图3 三维重建在 Web 上的运行结果

医学图像三维重建在 Web 下运行成功,这将对其临床应用起到重要的推动作用.目前临床应用的三维重建技术均基于特定平台,不要说不同地区,即使是同一医院,甚至同一科室,因不同型号的设备分别具有各自的三维成像系统,受其自身软、硬平台的限制,相互之间也不能通用.这种受平台制约、独立运行的方式导致临床上对三维重建系统的重复购置,诊断成本提高,应用效率下降,严重限制了三维图像的临床应用与推广.本研究使得三维重建基于 Web 在 Internet 上运行,克服了上述弊端.临床上需要具备三维重建处理功能的设备如 CT, MRI, PET 等,均能以客户端的身份连接到网络环境中,当需要从事三维重建时,便可采用本研究所用的网络计算模式:将重建软件放置于重建服务器中,依靠 Web 从网络上下载 Java 字节码至客户端内存,通过与服务器的通信,在服务器上完成三维重建,并将重建结果传送到用户端.由于 Java 具有跨平台运行特性,所以它对客户端机器的软、硬平台没有特别的限制.

另外,图像处理一般对硬件条件要求较高.本研究工作所采用的网络重建模式,三维重建的大部分工作在服务器端完成,客户端仅通过 Web 传送重建参数与接收重建结果,因此,对客户端机器没有过高的要求,也就是说,即便客户端为较低档的计算机,也可以通过网络资源共享的方法来达到重建断层图像的目的,从而可以充分发挥高性能计算机的作用.

从实验结果来看,网络重建的精度能够满足临床需求.以往的医学图像三维重建(即使非网络运行)未能描述出心脏的整体形态,尤其是冠状动脉的整体结构,因此,临床上欲观察冠状动脉的结构,必须依靠传统的冠状动脉造影术.由于它属于有创检查项目,在应用中受到很大的限制.本研究结合超高速 CT 技术,基于 Web 在 Internet 上重建人体器官的三维形态,其精度达到可以显示冠状动脉的程度,使临床上可以通过无创检查而观察到冠状动脉的结构.

References:

- [1] Durikovic, R., Kaneda, K., Yamashita. Imaging and modeling from serial microscopic sections for the study of anatomy. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 1998, 36(3): 276~283.
- [2] Linney, D., Dengm, J. Three-Dimensional morphometry in ultrasound. *Journal of Engineering in Medicine*, 1999, 213 (H3): 235~245.
- [3] Clapworthy, G., Krokos, M., Vasilonikolidakis, N. An Internet service for manipulating 3D models of human organs reconstructed from computer tomography and magnetic resonance imaging. *Medical Informatics*, 1997, 47(1-2): 121~124.

- [4] Fermiconi, A. R., Passeri, A., Guelfi, M. R., *et al.* World Wide Web interface for advanced SPECT reconstruction algorithms implemented on a remote massively parallel computer. *Medical Informatics*, 1997, 47(1-2):125~138.
- [5] Levoy, M. Display of surfaces from volume data. *IEEE CG & A*, 1988, 8(3):29~37.
- [6] Song, Zhi-jian, Qi, Wen, Li, Wen-sheng. Reconstruction of three-dimensional medical slice images based on WWW. *Journal of Shanghai Medical University*, 1999, 26(4):245~354 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [6] 宋志坚, 齐文, 李文生. 基于 WWW 技术的医学断层图像三维重建. *上海医科大学学报*, 1999, 26(4):246~354.

Reconstructing Three-Dimensional Medical Section Images Based on WWW*

SONG Zhi-jian, LI Wen-sheng, ZUO Huan chen

(*Digital Medical Center, Shanghai Fudan University, Shanghai 200032, China*)

E-mail: zjsong@shmu.edu.cn

<http://www.shmu.edu.cn>

Abstract: To reconstruct three-dimensional medical images in Internet based on Web and to achieve highly realistic display, getting two-dimensional image of human organs from ultrafast CT as sources, applying the volume rendering techniques to rebuild and display three-dimensional images in Java Applet and Java Application program. This reconstruction can be run in Web browser on many different kinds of computers. The anatomic structure of human organs can be displayed clearly in reconstructed three-dimensional images, especially the gross morphology of the heart and the trail of the coronary artery. Three-Dimensional medical image reconstruction in Web browser implemented by Java Applet is feasible, which will prompt clinical use of three-dimensional images. The solid conformation of human organs, especially the anatomic structure of the coronary artery, can be displayed by using three-dimensional reconstruction techniques, which may offer great references to clinic.

Key words: computer network; World Wide Web; three-dimensional reconstruction; heart

* Received December 1, 1999; accepted June 26, 2000

Supported by the Science Development Foundation of Shanghai of China under Grant No. 00JC14043; the SHUGUANG Project Foundation of Shanghai of China under Grant No. SG9822