

基于纹理映射的医学图像三维重建

何晓乾, 陈雷霆, 房春兰

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)

【摘要】提出了一种基于纹理映射的体绘制算法,提高了图像的三维重建效率,增强了图像的三维重建效果。算法实现了对二维医学图像序列的三维重建,在目前通用的个人计算机上可以以近似实时的速度重建出高质量的三维图像。针对算法中存在的问题提出了两种不同的改进方法,取得了较好的效果。结合纹理生成的过程和纹理重采样的过程,对重建后的三维图像实现了交互切割的算法。

关键词 交互切割; 纹理映射; 三维重建; 三维纹理; 三线性插值; 体绘制
中图分类号 TP391.41; R445.39 **文献标识码** A

Texture Mapping Based 3D-Reconstruction of Medical Images

HE Xiao-qian, CHEN Lei-ting, FANG Chun-lan

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract A new method of volume rendering based on texture mapping is presented. The technique significantly improves both performance and image quality of the 3D reconstruction. The method realizes 3D reconstruction for 2D medical images sequence. On commodity PC, can be obtained by the proposed method. high image quality at a rate near realtime. For visual artifacts in texture mapping, two improved methods are presented. Considering the processes of making texture and resampling, the method of interactive incise for 3D image is realized.

Key words interactive incise; texture mapping; three dimensional reconstruction; three dimensional texture; trilinear interpolation; volume rendering

与二维图像相比,三维医学图像更直观、逼真,医生借助它能更容易地对病变进行空间定位。因此,包括三维模型交互切割功能在内的医学图像三维重建引起越来越多的研究者的关注。

目前三维重建的体绘制算法可以分为面绘制(间接体绘制)^[1]和直接体绘制^[2]两大类。面绘制是基于图形学的绘制方法,对形体的表示、操作和显示都是基于图形学中的基本元素——点、线、面来完成的。面绘制可以有效地绘制三维形体的表面,但缺乏对内部信息的表达。直接体绘制是针对三维体数据的绘制方法。与面绘制相比,虽然直接体绘制可以精确地显示对象体丰富的内部细节,但是,体数据离散的数据格式导致物体表示精度依赖于体数据的分辨率,而分辨率的大小又直接与所占存储量相关。另外,直接体绘制在几何信息的表述上也显欠缺^[3]。最重要的是,它算法计算量大,实时的显示和交互都很困难。为了能更好地显示人体软组织

器官及其周围组织管道系统的详细信息,并能够在PC机上进行实时地绘制和交互,本文采用一种新的基于纹理映射的三维重建算法。

1 基于纹理映射的体绘制算法

纹理映射的体绘制算法是一种直接体绘制技术,通过混合二维或者三维纹理数据切片来重建三维图像。算法的原理类似于直接体绘制技术中的光线投射算法^[4],并且两种算法得到的结果图像也很类似。但与光线投射算法不同的是,基于纹理映射的算法利用三维空间的一致性,针对二维纹理切片而不是单个的像素进行处理。所以,比起光线投射算法,纹理映射的体绘制算法效率有明显的提高。

1.1 算法的基本原理

基于纹理映射的体绘制算法包括两个主要过程:纹理空间到物体空间的映射和物体空间到屏幕空间的映射,如图1所示。

收稿日期:2005-05-31

基金项目:四川省青年科技基金资助项目(05ZQ026-048);信息产业部发展项目

作者简介:何晓乾(1981-),男,硕士生,主要从事数字图像处理方面的研究;陈雷霆(1966-),男,博士,教授,主要从事数字图像处理、三维图形技术方面的研究;房春兰(1972-),女,讲师,主要从事数字图像处理方面的研究。

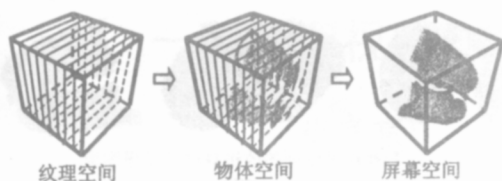


图1 基于纹理映射的体绘制方法

纹理空间到物体空间的映射具体步骤为:

(1) 将由体数据中得到的二维图像进行必要的预处理, 转换为纹理切片, 构成纹理空间; (2) 在三维空间绘制一系列平行与某一特定坐标平面的几何平面, 这一系列的几何平面要与体数据的三维属性相对应, 组成三维物体空间; (3) 确定纹理空间中纹理切片与物体空间中几何平面的映射关系; (4) 将各个纹理切片映射到物体空间中对应的几何平面上, 完成纹理空间到物体空间的映射。

物体空间到屏幕空间的映射, 是应用相关的光照模型, 对物体空间中的各个点进行光亮度和不透明度的计算。通过纹理混合(Blend), 最终映射到屏幕上, 显示为结果图像。

由体数据直接转换得到的纹理空间, 或者由原始二维图像序列结合图像的空间信息生成的纹理空间, 可以很真实地描述实际的三维对象, 重建的图像也能够清晰地反映出医学的实际解剖结构。

1.2 算法的缺点与改进

上述基于纹理映射的体绘制算法的缺点是: 重建的三维图像在交互(旋转)显示过程中, 不能保证纹理切片在视线方向上的间距始终保持一致, 使得在对三维图像旋转进行任意角度的观察时, 随着视线与物体空间几何平面法向夹角的增大, 显示效果会逐渐下降。更为严重的是, 当视线转到与物体空间中的几何平面平行时会出现“断层”。这是由于在视线与物体空间中的几何平面平行时, 光线透过几何平面间隙造成的。虽然可以通过图像的层间插值来缩小物体空间中几何平面间的间距, 但这只能在一定程度上改善图像的显示效果, 不能从根本上消除“断层”。针对上述两种情况下出现的问题, 本文分别提出了两种不同的方法对算法进行改进。

1.2.1 变换二维纹理序列

在垂直于三个坐标轴的方向上分别生成三套纹理序列^[5], 如图2a所示。在显示三维结果图像时, 根据不同角度选择最接近与视线垂直的纹理序列进行映射。这样可以避免结果图像出现“断层”。但是在视线与物体空间几何平面的夹角为 45° 时, 图像的显示效果达到最差。对于显示效果下降的问题可以在对三维模型显示时, 根据角度的不同对纹理空间

和物体空间进行不同频度的插值, 使得物体空间中的几何平面序列在视线方向上的距离始终保持为一个恒定值。

此方法可以简单地通过增加纹理序列和纹理空间中纹理切片的数量来增强结果图像的质量, 如图2b所示。但是这种改进的方法会增加算法的计算量, 而且预先生成三套纹理序列使得纹理空间占用三倍于体数据的存储量。

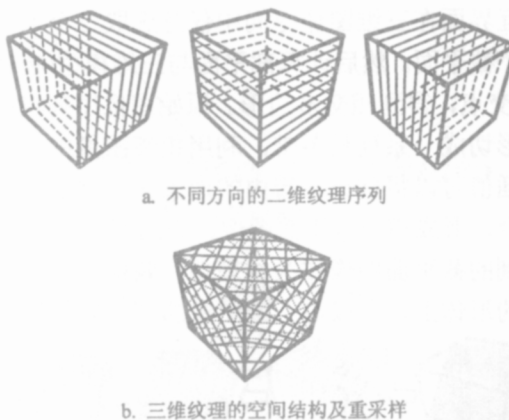


图2 纹理空间的组织结构

1.2.2 三维纹理中任意角度的截平面插值

将二维图像序列转换为三维纹理的结构, 构成纹理空间。即纹理空间不再是由二维的纹理切片组成, 而是整体由纹理单元构成的三维空间。相应地, 物体空间也用一个三维几何形体表示。在进行纹理映射时, 根据观察三维形体的角度, 在与视线垂直的方向上用一系列二维平面去截取物体空间, 得到多个相交多边形。然后用得到的这些相交多边形嵌入到三维纹理空间中进行重采样^[6], 如图2b所示。具体方法为: 对于相交多边形中的每一个采样点, 利用距离此采样点最近的八个纹理单元进行三线性插值得到采样点的纹理值, 完成纹理空间的采样。再按照1.1节中叙述的方法完成纹理空间到物体空间以及物体空间到屏幕空间的映射, 最终得到三维结果图像。

这种改进算法在纹理空间的存储量上保持不变, 最重要的是可以通过插值的频度来控制结果图像的显示效果。只是算法中利用的三线性插值较前一种改进算法中的双线性插值更复杂, 计算量上有所增加。但随着支持三维纹理功能的图形硬件的普及, 三线性插值将由硬件来实现, 算法也将得到进一步的改善。

2 三维图像的交互切割显示

对三维模型进行交互切割是医学图像三维重建

与显示后的一个重要应用内容。对医生来说,那些手术中很难触及到和无法用肉眼直接看到的组织器官内部,在三维重建后实现精确的交互切割便可以很容易地观察。

结合基于纹理映射的体绘制算法中纹理生成过程和纹理重采样过程,对重建后的三维图像进行交互切割的操作可以很容易地实现

由二维纹理序列构成纹理空间的算法,可以通过交互界面在三维图像空间中任意选取三个点,确定一个截平面。然后计算截平面与三维模型(物体空间)的交点,得到相交多边形。原始图像序列将相交多边形切成一系列长条带,利用相邻图像中相应像素的插值可以得到长条带内的像素值。然后对长条带融合,形成相交截平面图像,如图3所示^[5]。最后把得到的截平面图像作为纹理切片映射到物体空间对应的形体上,完成对三维图像的交互切割显示。

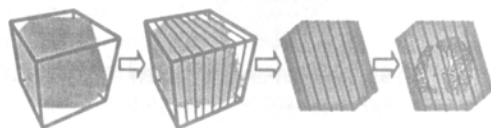


图3 二维纹理算法中三维图像动态切割

对于应用三维纹理结构的算法,可以直接利用任意角度截平面插值的计算过程来生成截平面图像,完成三维形体任意角度的交互切割显示。

3 算法实验结果与分析

在具有二维纹理支持图形硬件的通用计算机(Pentium IV、3.00 GHz CPU、512 M内存和64 M显存)上,利用Java/Java3D语言实现了基于纹理映射的医学图像三维重建算法。算法采用的数据为512×512×200的人体肺部经过分割处理后的体数据。利用上述两种改进算法进行重建,绘制时间分别为12.9 s和28.4 s。算法最终的重建效果和重建后的交互切割效果如图4所示。

算法中提到的纹理映射与计算机图形学中通常所提到的纹理映射不同,本文算法中的纹理映射不是利用一些假象(如对纹理的反复扩展等)^[3]来实现真实感的绘制。算法生成的纹理空间完全是真实三维物体的空间图像表达,能够比较真实地反映医学的实际解剖结构。

基于纹理映射的三维重建算法可以在具有二维纹理硬件支持的通用计算机上实现交互的重建速度和良好的重建效果。重建的三维图像具有半透明的显示效果,能够任意视角地观察、缩放,便于医生对医学图像信息进行更好的理解。

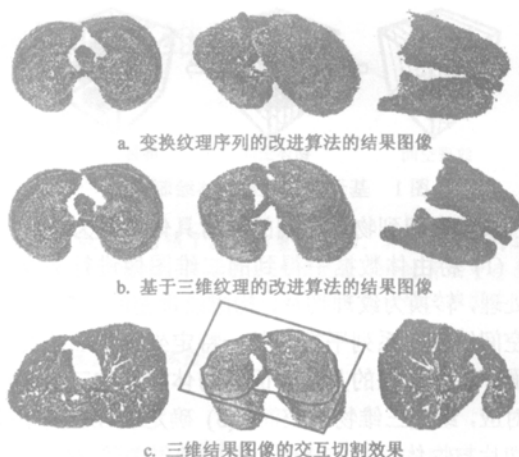


图4 三维重建以及交互切割效果

目前,医学图像的三维重建技术还很难在实际的医疗和手术中得到充分的应用。这是由于即使实现了二维图像的三维重建和显示,医生对病人的了解往往也只能停留在重建的三维形体表面,很难感知其内在的立体解剖结构关系。利用任意角度的交互切割可以很方便地观察到人体器官的内部情况,便于医生对病变做出正确的判断,并且可以在实际的手术过程中为主刀医生提供必要的信息。

4 结束语

在计算机游戏娱乐巨大市场的推动下,PC机显卡的功能变得越来越强大。随着支持三维纹理的显卡在通用PC机上的普及,三维纹理映射的体绘制技术^[6-8]在基于PC机的三维重建算法的研究中必将得到更广泛的关注。将图像分割应用于体绘制中,可以对物体不同组织结构分别进行重建。考虑到人体组织器官之间的相对独立性,可以在三维纹理空间中对医学图像进行分割。目前图像分割本身仍是一个尚未完全解决的研究课题,因此,如果将图像分割与三维重建有机地结合起来,以达到理想的分割和重建效果,将是一个有广阔应用前景的研究方向。

参考文献

- [1] WILLIAM E L, HARVEY E C. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm[J]. Computer Graphics(SIGGRAPH '87 Proceedings), 1987, 21(4): 163-169.
- [2] 管伟光, 马颂德. 体视化技术及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- [3] 阎丽霞, 洪津津, 石教英. 虚拟手术中的模型实时绘制[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(7): 8-10.

(下转第586页)

的灵活性。尤其在高斯核参数的影响下,更能体现出算法的鲁棒性。这说明,采用ICA&SVM方法的虹膜识别不仅能有效地获取虹膜独立元特征,而且提高了识别性能。

5 结束语

通过本文的实验比较,ICA&SVM的虹膜识别方法降低了特征空间的维数,并取得了很好的正确识别率,较相异度函数和最近特征线方法有明显的提高。这说明,在独立成分空间中可以用更低维数、更有效的特征来表示虹膜的细节特征。由于各独立成分之间具有高阶独立性,所以得到的分类器具有很强的泛化性能,对合法身份有良好的识别能力。

参 考 文 献

- [1] DAUGMAN J. The important of being random: statistical principles of iris recognition[J]. *Pattern Recognition*, 2003, 36(2): 279-291.
- [2] BOLES W W. A security system based on Human iris identification using wavelet transform[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1998, 11(1): 77-85.
- [3] MA L, WANG Y H, TAN T N. Iris recognition using circular symmetric filters[C]//*Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition*. [S.L.]:[s.n.], 2002: 2: 414-417.
- [4] 王 勇, 韩九强, 刘鹏飞. 基于多尺度策略的三步虹膜定位算法研究[J]. *微电子学与计算机*, 2005, 22(4): 26-29.
- [5] 阮秋琦. *数字图像处理学*[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [6] HYVARINEN A, OJA E. Independent component analysis: algorithms and applications[J]. *Neural Networks*, 2000, 13(4-5): 411-430.
- [7] HYVARINEN A, KARHUNEN J, OJA E. Independent component analysis[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [8] Vapnic V. *Statistical learning theory* [M]. New York: Wiley, 1998.
- [9] The Center for Biometrics and Security Research. CASIA iris image database[DB/OL]: <http://www.sinobiometrics.com>, 2006-06-10.

编 辑 刘文珍

(上接第575页)

- [2] SIBSON R. A vector identity for the dirichlet tessellation[J]. *Math Proc Cambridge Philos Soc*, 1980, 87: 151-155.
- [3] MOCOZET L, THALMANN N M. Dirichlet free-form deformations and their application to hand simulation[C]// In: *Proceedings Computer Animation'97*. [S.L.]: IEEE Computer Society, 1997: 93-102.
- [4] BOISSONNAT J D, SHARIR M, TAGANSKY B, et al.

Voronoi diagrams in higher dimensions under certain polyhedra distance functions[J]. *Discrete Comput Geom*, 1998, 14: 485-519.

- [5] SEDERBERG T W, Parry S R. Free form deformation of solid Geometric models[J]. *Computer Graphics*, 1986, 20(4): 151-160.

编 辑 漆 蓉

(上接第578页)

- [4] PETER M H, ALAN H W. Rapid volume rendering using a boundary-fill guided ray cast algorithm[C]//*Proceedings of the Computer Graphics International (CGI'91)*. N. M. Patrikalakis: Springer-Verlag, 1991: 235-249.
- [5] REZK-SALAMA C, ENGEL K, BAUER M, et al. Interactive volume rendering on standard PC graphics hardware using multi-texture and multi-stage rasterization[C]// In *SIGGRAPH/Eurographics Workshop on Graphics Hardware*. Providence, RI, USA: [s. n.], 2000: 109-118.
- [6] CULLIP T J, NEUMANN U. Accelerating volume

reconstruction with 3D texture hardware[R]. Technical Report TR93-027, University of North Carolina, Chapel Hill N.C., 1993: 1-4.

- [7] DANIEL W, MANFRED W, ERTL T. Maintaining constant frame rates in 3D texture-based volume rendering[C]// *Proceedings of the Computer Graphics International (CGI'04)*. Crete, Greece: [s. n.], 2004: 1530-1652.
- [8] GELDER A V, KIM K. Direct volume rendering with shading via three-dimensional textures[C]// In *Proc. of ACM Symposium on Volume Visualization*. San Francisco, CA, USA: [s. n.], 1996: 23-30.

编 辑 漆 蓉