

基于 PC 机的断层图象序列 3-D 表面重建

罗 斌 汪炳权

(安徽大学电子工程与信息科学系,合肥 230039)

摘要 由断层图象序列重建三维物体模型及其可见表面显示是目前国际上十分活跃的研究课题。本文对 X 射线 CT 图象序列重建三维对象模型,以及可见表面 3-D 显示进行了研究。提出一种给定分段点数的轮廓多边形近似方法,继而提出一种快速断面图象间轮廓插值方法。对重建出的人体肝脏体元阵列,用深度和梯度明暗显示方法进行显示,肝脏可见表面的 3-D 显示结果令人满意。全部软件都是在以 PC/AT 为主机,配以 PC-VISION 图象处理板的微机图象处理系统上,用 C 语言编程实现的。

关键词 三维重建;断层图象;三维显示

1. 引言

从断层图象序列重建三维物体模型技术主要有两种:(1)基于表面的方法;(2)基于体元的方法。前者按一定规则用面元连接各轮廓得到表面的描述,继而显示可见表面。后者将物体表示成有限的体元集合,物体表面用分割物体体元和背景体元的有向表面来表示。

基于表面的方法主要有:Kepple 的三角形面片法^[1],Fuch 的三角形面片法^[2],Christiansen 和 Sederberg 的三角形面片法^[3]和 Sunguruff 和 Greenberg 的 B 样条法^[4]等。但这些方法难以解决分枝问题,特别是当断面间距离较大时更明显。

基于体元的方法主要有:Herman 等的 Cuberille 模型^[5],Meagher 的体元阵列八叉树(oct-tree)表示法^[6],Lorenson 的 Marching cubes 技术^[7]等。体元表示法具有适合于数值计算,特定空间选择运算和对物体重新进行分片处理(reslicing)等优点。本文采用体元表示法。

2. 三维重建方法

(1) 硬件配置 系统的硬件配置如图 1 所示。

该系统以 PC/AT 为主机,断层图象通过摄象机输入 PC-VISION 图象处理板,图象显示器用来输出图象,分辨率为 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$,跟踪球用来交互地提取二维图象中对象物的轮廓。PC-VISION 图象处理板中包括数字化逻辑,帧存储器 ($512 \times 512 \times 8\text{bit}$),比特检查表和 D/A 转换器。

(2) 软件研制 为了从断层图象序列重建三维物体,并进行显示,我们研制了软件

1991.09.09 收到,1992.05.25 定稿。

罗 斌 男,1963 年出生,讲师,现从事模式信息处理专业的教学和研究工作。

汪炳权 男,1936 年出生,副教授,现从事模式信息处理专业的教学和研究工作。

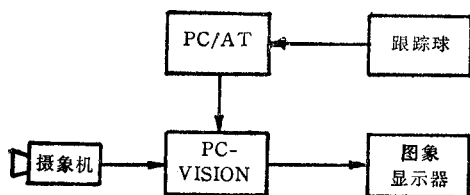


图1 硬件配置图

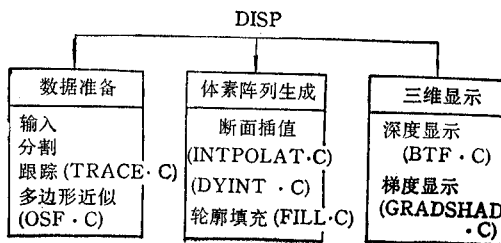


图2 软件结构框图

DISP。DISP 包括 3 个模块,即数据准备模块、体元阵列生成模块和 3-D 显示模块。图 2 为软件结构框图。

(a) 数据准备 重建 3-D 物体第一步就是要对断层图象中的感兴趣物进行分割。简单的门限技术对于提取人体软组织的图象轮廓不适用。我们采用人机交互方式勾画出感兴趣区域。跟踪程序 TRACE·C 用来跟踪并记录感兴趣物的轮廓点。轮廓多边形近似是数据压缩的有效方法。我们用一种给定分段点数的轮廓多边形近似方法。先根据轮廓点与线段之间的距离关系,设置门限,确定一级近似分段点,再以一级近似分段点为原始数据,当一级分段点数大于给定值时,删除轮廓曲率较小处的分段点,使分段点数等于给定值,否则,在距离较大的分段点间插入新的分段点,使二级分段点数等于给定分段点数。多边形近似程序为 OSF·C。

(b) 体元阵列生成 三维物体的重建目标是形成表示物体的体元阵列。为了得到立方体元阵列表示的三维物体,要在每对相邻断面间进行插值,使物体在断面间和断面内的分辨率相同,以精确重建三维物体。DYINTP·C 为动态弹性插值程序^[8],对形状相差不很大的两个轮廓,该方法能较好地进行插值。另外,我们用一种快速断面轮廓插值方法。输入为分段点数固定的多边形数据,按两轮廓对应分段点间距离进行线性插值,得到各中间插值轮廓。程序 INTPOLAT·C 为这种快速插值程序。该方法插值运算速度快,且对一轮廓有凹陷部分,另一轮廓较平滑的复杂情况插值效果亦能令人满意。FILL·C 程序用于对各断面轮廓(包括插值轮廓)进行填充。插值后,立方体元的尺寸等于断面中象素的大小,立方体元简化为三维空间中的一个数据点,使检测和显示体素的过程得以简化,加快了物体重建和三维可见表面检测、显示的速度。

(c) 三维显示 物体的三维显示实际上是指在二维计算机图象显示屏上显示出三维物体的投影,而投影中包含能被人眼感知的第三维即深度信息。VDISP·C 和 BTF·C 程序用于对体元阵列进行深度明暗显示^[9],前者仅从各坐标轴方向对物体进行平行投影运算,速度较快,但观察角度有限;后者根据物体旋转的角度进行投影运算,可得到不同方向的平行投影图象。投影的结果图象上各象素的亮度值对应于各体元到观察点的距离。SCALE·C 程序用来进行对比度增强,改善 3-D 显示效果。对深度明暗显示结果进行亮度梯度运算,结合光照模型,可以得到较好的显示结果。GRADSHAD·C 即为梯度明暗显示程序^[10]。

3. 实验结果

本文叙述的各种方法均在 PC 机上用 C 语言编程调试通过。我们用 11 幅人体肝胆

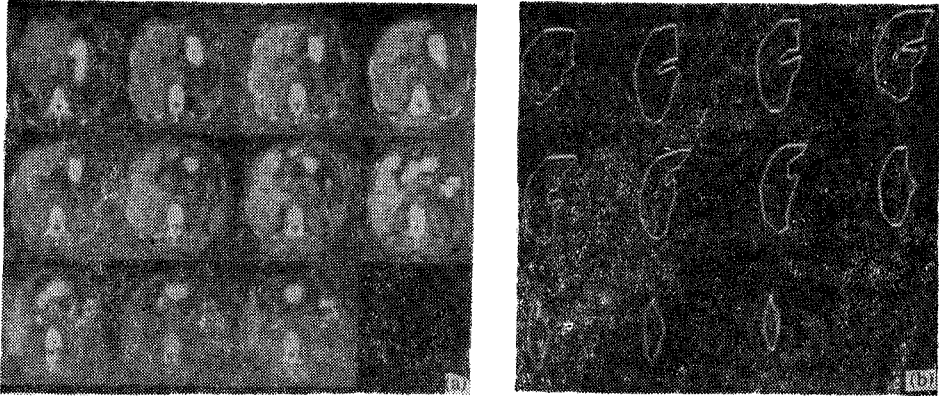


图 3 轮廓多边形近似结果

部位 X-CT 图象对肝脏进行 3-D 重建和显示实验,各断面间距为 1cm.

首先对各断层图象中的肝脏进行人机交互方式轮廓提取,用 TRACE·C 程序进行轮廓点跟踪. 规定分段点数为 20, 用 OSF·C 程序对各断层肝脏图象轮廓进行多边形近似,如图 3 所示.

输入断层图象象素大小为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$, 在两相邻断层间用 INTPOLAT·C 程序等距离插入 4 个中间插值轮廓, 并用 FILL·C 程序进行轮廓填充后, 即得到了大小为 $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的立方体元阵列表示的三维人体肝脏数据. 图 4 给出 1 个插值实

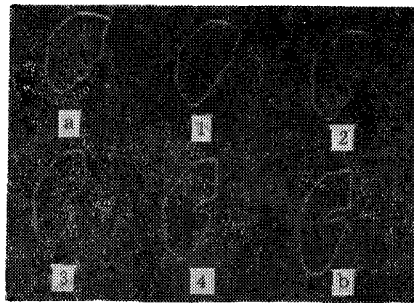


图 4 插值结果

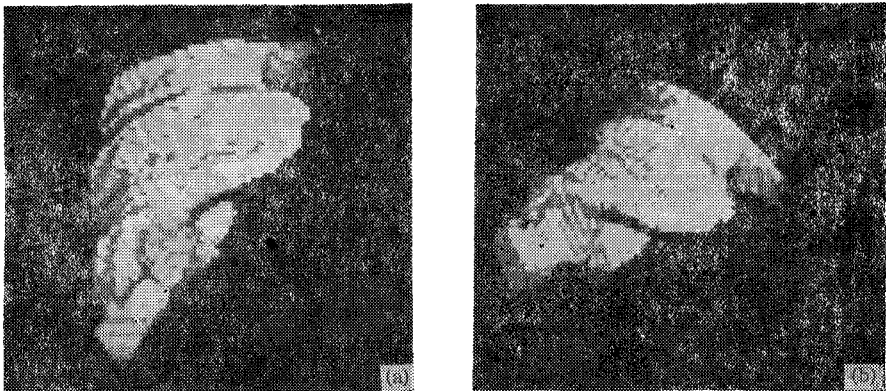


图 5 3-D 肝脏表面显示结果

例。a, b 为两相邻的轮廓, 1, 2, 3, 4 分别为各中间插值轮廓。对 a, b 这两个形状相差较大的轮廓, 插值效果也较好。

用 BTF·C 程序对肝脏体元阵列进行深度明暗显示, 得到肝脏表面的深度明暗显示图象, 再用 GRADSHAD·C 程序进行梯度明暗显示。图 5 为从两个不同方向进行梯度明暗显示的结果。三维显示效果较好, 说明本文方法是有效的。

参 考 文 献

- [1] E. Kepple, *IBM, J. Res. Develop.*, 29(1975), 2—11.
- [2] H. Fuch, Z. M. Kedem, S. P. Uzelton, *Communications of the ACM*, 20(1977)10, 693—70.
- [3] H. N. Christiansen, T. W. Sederberg, *Computer Graphics*, 12(1978)3, 187—192.
- [4] A. Sunguruff, D. Greenberg, *Computer Graphics*, 12(1978)3, 196—202.
- [5] G. T. Herman, H. K. Liu, *Computer Graphics and Image Processing*, 9(1979)1, 1—21.
- [6] D. J. Meagher, Efficient Synthetic Image Generation of Arbitrary 3-D Objects, Proc. of the IEEE Computer Society Conf. on Pattern Recognition and Image Processing, 1982, Las Vegas, NV, pp. 473—478.
- [7] W. E. Lorensen, H. E. Cline, *Computer Graphics*, 21(1987)4, 163—169.
- [8] Wei-Chung Liu et al., *IEEE Trans. on MI*, MI-7(1988)3, 225—232.
- [9] Gideon Frieder, Dan Gordon, R. Authority Reynolds, *IEEE Computer Graphics and Application*, 5(1985)1, 52—60.
- [10] Dan Gordon, R. A. Reynolds, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 29(1985)3, 361—376.

PC-BASED 3-D RECONSTRUCTION FROM CROSS-SECTIONAL IMAGES

Luo Bin Wang Bingquan

(Department of EE&IS, Anhui University, Hefei 230039)

Abstract It is an active researching area to reconstruct the model of 3-dimensional object from cross-sectional images and to display its visible surfaces. In this paper, the theory and the method of reconstructing the model of 3-D object and displaying its visible surface from X-CT images are studied. Giving the number of segment points, a polygonal approximation method is presented. Then a fast contour interpolating method is introduced. The reconstructed liver voxel set is displayed with the depth-only shading method and the depth gradient shading method, the result is satisfactory. The software is written in C language and runs on PC-VISION image processing system.

Key words 3-D reconstruction; Cross-sectional image; 3-D display