

文章编号: 1001-3806(2004)01-0055-03

激光共焦扫描显微镜中一种新的三维重构算法

黄 琳,陶纯堪,高万荣,胡茂海,杨晓春
(南京理工大学 电子工程与光电技术学院,南京 210094)

摘要: 由序列断层图像恢复出目标物体的三维图像是激光共焦扫描显微镜(LCSM)系统的重要组成部分。根据精细物体表面的特点,提出了一种新的基于物体表面的三维重构算法,并应用在 LCSM 系统中,得到了较好的结果。

关键词: LCSM 系统;三维重构;面绘制;断层图像

中图分类号: TH742.64 **文献标识码:** A

A new 3-dimension reconstruction algorithm based on surface in the LCSM system

HUANG Lin, TAO Chun-kan, GAO Wan-rong, HU Mao-hai, YANG Xiaochun

(School of Electronic Engineering & Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The laser confocal scanning microscopic (LCSM) system is one kind of modern microscopic instruments which are characterized by depth discrimination capability. However, in order to obtain the three dimensional images of an object, the three-dimension reconstruction is very important. In this paper, the theories and methods of how to create accurate depictions of three-dimension data on the screen of a computer device is discussed and a new three-dimension reconstruction method based on surface is proposed. The experiment results show that the reconstructed images have high quality.

Key words: the system of LCSM; three-dimension reconstruction; surface rendering; cross-sections image

引 言

激光共焦扫描光学显微镜(LCSM)是近 10 年来才迅速发展起来的一种高精度显微成像技术,它是以光学为基础,融机械、电子、计算机为一体的高精度现代化显微测试仪器。其基本原理是:由激光源发出的激光经显微光学系统聚焦到被探测物体上一点,采取精密共焦空间滤波和目标物体分层的快速激光扫描,逐点探测来自目标物体上的微弱光信号,该输出光信号送入计算机经快速处理和图像合成,呈现目标物体的三维图像在操作者面前。它克服了传统光学显微镜把被观察物体一定纵深范围的结构都加以成像的缺点,把物体分为若干光学断层,逐层扫描成像,层与层之间有高的纵深分辨率。它

是迄今为止较为理想的三维显微成像系统。

LCSM 系统采集到的是一系列不同深度上的二维断层图像,想象复杂的三维结构是困难的。因此,最终目的是:根据所采集到的目标物体的一系列断层图像重构出目标物体的三维图形,并在屏幕上进行具有真实感的显示。

三维重构可以追溯到很久以前。BORN 曾于 1876 年根据连续组织切片,用分型浇注蜡膜的方法堆塑那些形体微小、解剖关系复杂的胚胎结构的发生过程。此方法被后人奉为经典的三维重构。因此,三维重构的定义是直接而简单的,即基于二维的图像序列并将这些断层序列堆积起来,从而形成一个三维图像。

LCSM 系统在进行扫描成像时,是沿着标本轴向方向进行连续断层扫描成像的,系统的扫描范围以及每次纵向移动的距离均为预先设置,即图像的大小和层与层之间的间距已经给定,因此,可以根据这些数据按成像顺序来构筑一个三维数据场 $f(x, y, z)$,该三维数据场是作者研究的基础。

作者简介:黄琳(1966-),女,讲师,博士研究生,现从事计算机图像、图形处理方面的研究工作。

E-mail: njxierhl@jonline.com

收稿日期:2003-04-24;收到修改稿日期:2003-06-11

1 常用的三维数据场可视化方法

通常,三维数据场可视化的基本绘制方法分为两大类,即面绘制(surface rendering)和直接体绘制(directing volume rendering)。

面绘制方法是一种基于表面表达模型,以显示表面信息为目的的绘制方法。面绘制主要是按照给定的阈值从三维数据场中抽取出等值面,然后利用传统的曲面绘制方法来绘制此等值面。常用的面绘制方法有二维等值线拼接法、marching cubes方法及diving cubes方法。

直接体绘制方法是一种基于灰度体数据表达模型,以显示整个三维数据场信息为目的的绘制方法。

典型的直接体绘制方法是视线投射(ray-casting)方法,从显示屏幕每一像素点发出一根射线穿过数据场各体元,对所穿过的各体元特征值直接进行重采样,再考虑物质的不透明性和光照效果,进行相应的计算,逐个采样点叠加累计,则最终结果被显示出来。这样,处理的数据场便可投射到显示屏幕上,绘制成有多层次透明效果的三维图像。

面绘制的最大特点是采用曲面造型技术,生成数据场等值面的曲面表示,再采用光照模型计算出绘制图像。面绘制需要构造中间曲面表示,必然要通过阈值等方法提取出中间曲面,这是一个分割的过程。曲面提取算法的计算量比较大,然而一旦提取完成后,则便于后续处理。

作者结合精密物体表面的特点,提出了一种新的基于面绘制的简洁算法,并得到了满意效果。

2 目标分割

要重构出物体的表面信息,首先必须进行目标分割。从一幅图像中,按一定规则划分出感兴趣的部分或区域,叫做分割。在LCSM系统中,最重要的一个分割是将共焦面上的图像与非共焦面上的背景分离开来。在本系统中,采用二值化方法来完成图像的分割。

二值化方法是图像分割中的一个重要方法,它利用了图像中要提取的目标物与背景有灰度特性上的差异。如设置一个灰度阈值,凡灰度值低于这个阈值的像素都变成某个灰度值,而灰度值高于这个阈值的像素都变成另一个灰度值。这样,就可将图像中的物体和背景以明显不同的灰度级区别开来。

设图像 $f(x, y)$ 的灰度级范围为 $[Z_1, Z_2]$ 。在 Z_1 和 Z_2 之间选择一个合适的灰度阈值为 t ,则按

上述方法分割后的图像 $f_t(x, y)$ 可由下式表示:

$$f_t(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{若 } f(x, y) \geq t \\ 0 & \text{若 } f(x, y) < t \end{cases} \quad (1)$$

或

$$f_t(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{若 } f(x, y) \leq t \\ 0 & \text{若 } f(x, y) > t \end{cases} \quad (2)$$

还可以将阈值设置为一个灰度范围 $[t_1, t_2]$ 。凡是灰度在范围内的像素灰度级都变成1,其它像素灰度级都变成0,即按下式运算:

$$f_{t_1, t_2}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{若 } t_1 \leq f(x, y) \leq t_2 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

阈值分割的基本原理可以用下式做一般表示:

$$f_z(x, y) = \begin{cases} Z_c & \text{若 } f(x, y) \in Z \\ Z_b & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

式中, Z 为阈值,是图像 $f(x, y)$ 灰度级范围内的任一个灰度级集合,即 $Z \subseteq [Z_1, Z_2]$ 。 Z_c 和 Z_b 为任意选定的目标和背景灰度级。由此可见,阈值的选取直接影响到分割的结果。只有在一些目标物体灰度级和背景相差明显的图像中才能应用简单的灰度阈值法来分割出图像中的目标物和背景。在前面的LCSM系统成像原理中,已经提到激光共焦扫描光学显微镜最重要的成像特点是其纵向分辨率高。表现为共焦面以外的点在图像上是一个灰度值较低的圆斑,构成了图像的背景。因此,它们的前景和背景的区别是较明显的,因此,用阈值来分割目标与背景是可行的。

在本系统中,采用了大京算法来求取阈值。大京算法的基本思路是:找到一种最优的阈值化算法,来建立一种在通常意义上能评价阈值好坏的合适准则。它的特点是:只有直方图的信息,而没有任何先验的知识,就可以找到一个最优的阈值。

3 三维建模

在目标分割的基础上,就能建立三维模型。

众所周知,体是由面构成的,如果能在采集到的三维数据场中构造出中间几何图元,那么再由传统的计算机图形学技术实现绘制,便能得到形象生动的三维物体。

在精细物体的检测中,经常需要了解精细物体表面由于氧化等原因造成的腐蚀情况,这时,所关心的仅是表层信息,基于此特点,设计了如下的简洁方法来完成三维表面信息的重构。

首先逐层读取采集到的断层图像信息,并根据每层图像的序列号确定出其高度信息,这样,就产生了一个二维的由高度信息构成的数据集,其 x, y 方

向分别表示三维模型的横向与纵向采样点的个数,而点 (x, y) 的值表示所有采集到的序列断层上对应于此点的最大的 z 值,即采样点的高度值,而这个高度值恰好就是所要重构出的物体表层信息的高度值。

根据精度要求的不同,选取不同的步长,逐行读取得到的这个二维高度信息集,相邻的点 $(i, j), (i, j+1), (i+1, j)$ 可构成一个小三角形,其 z 轴方向的值就是所对应点的高度值,这样,物体表层就可由一系列的小三角面片来近似表示。

4 LCSM 系统中基于物体表面的三维重构算法的实现

对于重构出的三维模型,笔者是用 OpenGL 来完成绘制工作的。

要绘制逼真的三维物体,必须做光照处理。而在光照处理中,最为重要的就是定义物体各顶点处的法线。

物体的法线矢量定义其表面在三维空间中的方向。对于一个平面,法线矢量是指与该平面垂直的矢量。同一个平面上所有点的法线矢量互相平行而且相同,但在一个曲面上,各顶点的法线矢量可能不同。OpenGL 允许为每一个顶点定义一个法线矢量,多个顶点也可以共用相同的矢量。除顶点外,不能在其它位置定义法线矢量。在有光照的情况下,一个法线矢量定义该点相对于光源的方向,实际上等于决定了物体在该顶点处接收多少光。没有法线矢量的物体不能被正确地光照。

对于得到的这样一个由多个小三角面片逼近的曲面,每个小三角面片的法线是比较容易求得的,如图 1 所示,这样,任意 3 个不共线的点 (V_1, V_2, V_3) ,其法线矢量为叉积 $(V_1 - V_2) \times (V_2 - V_3)$ 。

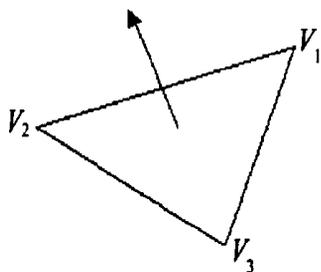


Fig. 1 The surface contains V_1, V_2, V_3

然而,对于一个由多个小三角面片逼近的曲面,

如果直接用小三角面片的法线矢量作为曲面的法线,则该曲面显得不够光滑,这是因为通过多个三角面片边界的法线的方向是不连续的。为解决此问题,采用了通过某个顶点的所有面的法线的平均值的方法来实现。如图 2 所示。

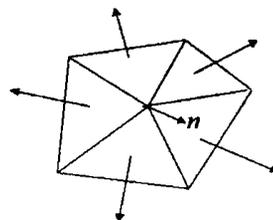


Fig. 2 The normals of adjacent faces to compute the vertex normal in n

最后,选择合适的光照,得到了较满意的结果。

图 3 为使用此方法将一组经过腐蚀的精细物体的断层图像进行绘制的结果。

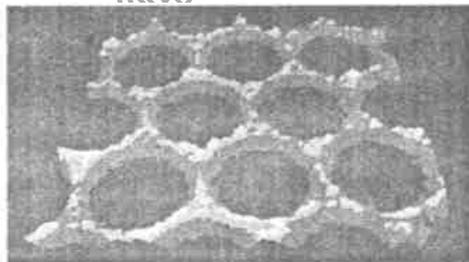


Fig. 3 The 3-D image reconstructed from a series of cross-sections images

5 结论

根据检测精细物体表面信息的特点所提出的这种新的三维重构算法,较传统的面绘制算法,表面的构造要简洁,它只需要高度信息,便可方便地构造出表面,最后由 OpenGL 显示出生动的三维图形。

参考文献

- [1] MARC J, BERNARD M M. IEEE Transaction on Medical Imaging, 1993, 12(2): 269~277.
- [2] 石教英,蔡文立. 科学计算可视化算法与系统. 北京: 科学出版社, 1996. 153~162.
- [3] LORENSEN W E, CLINE H E. Computer Graphics, 1987, 21(4): 163~169.
- [4] ROBERT A D, LOREN C, PAT H. Computer Graphics, 1988, 22(4): 65~74.
- [5] 彭晓明,王坚. OpenGL 深入编程与实例揭秘. 北京: 人民邮电出版社, 1999. 75~87.