

文章编号: 0258-7025(2002)06-0573-03

# 激光共焦扫描显微镜数据场的三维重建

胡茂海, 陶纯堪, 高万荣, 黄琳

(南京理工大学电光学院, 江苏南京 210094)

**提要** 主要研究激光共焦扫描显微镜(LCSM)系统数据场的体绘制方法。根据LCSM系统数据场的特点, 提出了源一点光源光照模型以及体缓冲器绘制方法。实验结果表明此方法适用于LCSM系统, 能够生成逼真的三维图形。

**关键词** 激光, 扫描显微镜, 体绘制, 光照模型

**中图分类号** TH 742.64 **文献标识码** A

## 3D Reconstruction of Data Field of Laser Confocal Scanning Microscope

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

(Institute of Electricity and Optics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

**Abstract** This paper primarily researches the volume rendering of LCSM's data field. According to the property of its data field, a new lighting model of source-spot lighting and the volume rendering method of Ti buffer are proposed. The experimental results show that this method is fit for LCSM system and can produce vivid 3D images.

**Key words** laser, volume rendering, lighting model, scanning microscope

## 1 引言

激光共焦扫描显微镜<sup>[1]</sup>(LCSM)主要用于生物医学研究, 我们所开发研制的LCSM系统具有很高的横向分辨率和纵向分辨率, 分别可以达到 $0.2 \mu\text{m}$ 和 $0.4 \mu\text{m}$ 。利用LCSM系统可以进行三维扫描成像, 而这种三维图形的再现是通过计算机的三维立体重建来实现的, 所以利用LCSM采集的系列二维断层图像重建三维图形是该系统的重要组成部分。本文正是基于这种要求着手研究体绘制方法在LCSM系统中的应用。体绘制与传统面绘制<sup>[2]</sup>方法不同, 它是将三维离散数据场直接转换为二维图像而不必生成中间几何图形。

## 2 三维建模

LCSM系统在进行扫描成像时, 是沿着标本的轴向进行不连续断层扫描成像, 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

小和断层图像间的距离已经给定。因此可以根据这些原始数据按成像顺序来构造一个三维数组 $F(x, y, z)$ , 该数组是进行三维图形重建和三维截面图像重建的基础。 $x, y$ 的大小为断层扫描图像的长和宽,  $z$ 为纵向扫描范围。

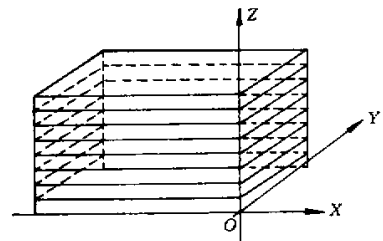


图1 三维数据场示意图

Fig. 1 Schematic diagram of 3D data field

## 3 光照模型

光照模型即根据光学物理的有关定律计算景物

收稿日期 2001-04-02; 收到修改稿日期 2001-08-13

作者简介 胡茂海(1967—)男, 安徽人, 工程师, 博士, 主要从事计算机控制和计算机图形学研究。E-mail: hmh@yaho.com.cn

表面上任一点光亮度大小和色彩组成公式。光照模型是体绘制的基础,其分为局部光照模型和整体光照模型<sup>[3]</sup>,本文采用了局部光照模型。根据 LCSM 系统数据场的特点,我们提出源一点光源光照模型,即

$$I = I_o + I_p$$

其中  $I_o$  表示体素自身发光强度,  $I_p$  表示点光源光照强度。LCSM 系统的断层扫描图像中每一采样点的灰度值对应着该点荧光强度,所以  $I_o$  为像素点的灰度值。LCSM 系统数据场在理想点光源照射下的方程为

$$I_p = I_a + I_d + I_s$$

式中  $I_a$  为环境光反射强度,  $I_d$  为漫反射强度,  $I_s$  为镜面反射强度。下面分别讨论  $I_a$ ,  $I_d$  及  $I_s$ 。

$$I_a = K_a \times I_b$$

式中  $K_a$  为环境光反射系数,  $I_b$  为环境光强度。

$$I_d = K_d \times I_l (N \cdot L)$$

式中  $K_d$  为漫反射系数,  $I_l$  为入射光强度,  $N$  为物体表面的单位法矢量,  $L$  为从物体表面指向点光源的单位矢量。

$$I_s = K_s \times I_l (V \cdot R)^2$$

式中  $K_s$  为反射系数,  $I_l$  为入射光强度,  $V$  为观察方向的单位矢量,  $R$  为反射方向的单位矢量。本文在计算明暗效应时忽略了镜面反射作用,且假设  $K_a$  为零,则

$$I = I_o + I_d$$

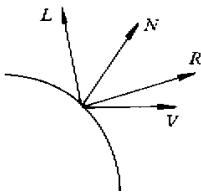


图2 点光源光照模型示意图

$L$ : 指向光源的单位矢量;  $N$ : 面单位法矢量;

$R$ : 反射光线单位矢量;  $V$ : 指向观察者的单位矢量

Fig.2 Schematic diagram of spot lighting model

$L$ : normalized vector in direction of light source;  $N$ : surface normal vector at the location  $(x, y, z)$ ;  $R$ : normalized vector in direction of reflected ray;  $V$ : normalized vector in direction of observer

指向光源的单位矢量  $L$  表示如下

$$L_x = \frac{(x - x_0)}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}}$$

$$L_y = \frac{(y - y_0)}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}}$$

$$L_z = \frac{(z - z_0)}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}}$$

其中  $(x, y, z)$  为扫描点  $(x_0, y_0, z_0)$  为点光源。

面单位法矢量  $N$  的求解是问题的关键所在。本文采用灰度值梯度法<sup>[2]</sup>。假设点  $(i, j, k)$  位置的灰度值为  $g$ , 则其灰度梯度可表示为

$$G_x = g(i+1, j, k) - g(i-1, j, k)$$

$$G_y = g(i, j+1, k) - g(i, j-1, k)$$

$$G_z = g(i, j, k+1) - g(i, j, k-1)$$

则面单位法矢量  $N$  可表示为

$$N_u = \frac{G_u}{\sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2 + (G_z)^2}}$$

其中,

$$u = x, y, z$$

反射光线单位矢量  $R$  如下表示

$$R = 2(N \cdot L)N - L$$

## 4 绘制算法

体绘制技术的实现是一个三维离散数据场重新采样和图像合成的过程,而重新采样和图像合成均采用离散形式实现。目前常用方法分成两类:(1)基于图像空间扫描的体绘制算法如光线投射法<sup>[4]</sup>及光线跟踪法<sup>[5]</sup>;(2)基于物体空间扫描的体绘制算法如足迹表法<sup>[6]</sup>。根据 LCSM 系统数据场的特点,在 Z 缓冲器算法的基础上<sup>[3]</sup>,我们提出体缓冲器算法。具体分为如下几步:

(1)数据值分类<sup>[7]</sup>。根据共焦扫描显微镜三维数据场的特点,采用类间最大阈值分割法将体数据分成两类,即目标和背景。

(2)透明度赋值。对于背景其透明度值赋为 1,即其为完全透明。而目标的透明度值赋为 0,即其为完全不透明。

(3)三维建模和设置光源位置<sup>[8]</sup>进行明暗计算。我们采用灰度值梯度法求出面法向  $N(3 \times 3 \times 3$  邻域)

(4)初始化帧缓冲器以及体缓冲器。

(5)扫描数据场所有体素进行观察变换和投影变换。对体缓冲器进行加权求和即图像合成的过程。其过程可用数学方式表达为

$$I = \alpha_0 \beta_0 I_{z_{\min}} + \alpha_1 \beta_1 I_1 + \alpha_2 \beta_2 I_2 + \dots + \alpha_n \beta_n I_{z_{\max}}$$

其中  $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$  为加权因子;  $I_{z_{\min}}, I_1, \dots, I_{z_{\max}}$  为体缓冲器中的强度值;  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$  为不透明度。

(6) 视区变换指如何将观察平面上的物体显示到屏幕窗口,即定义视区。实际应用中,视区的长宽比率应等于投影变换中视景体的长宽比率,否则投影后的图像在屏幕视区显示时将会变形。由于三维离散数据场不同重采样点经过观察变换和投影变换其坐标范围变化很大,因此本文采用了先存后取的方法。即首先定义一较大的二维数组,然后将采样点的值存入对应的数组中,求出坐标的最大值和最小值(即  $X_{\max}, Y_{\max}, X_{\min}, Y_{\min}$ ),再进行变换,取出存入的采样值进行插值计算。设  $(X_s, Y_s)$  为屏幕坐标值,则其变换可如下表示

$$X_s = \frac{(X_p - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \times \text{WIDTH}$$

$$Y_s = \frac{(Y_p - Y_{\min})}{(Y_{\max} - Y_{\min})} \times \text{HEIGHT}$$

其中,WIDTH, HEIGHT 分别为断层输入图像的像素宽度和高度。

### 5 LCSM 系统三维重建基本过程

首先利用 LCSM 系统对生物标本进行图像采集。由于 LCSM 系统纵向分辨率低于横向分辨率,故在图像重建之前进行插值计算以及滤波处理。再根据采集数据和插值结果进行三维建模,给定光源位置进行光照强度计算,最后进行绘制。系统软件能够进行交换处理和动画显示。其方框图如图 3 所示。

实践证明我们提出的光照模型和绘制算法运用于 LCSM 系统数据场时是一种较好的方法,能够

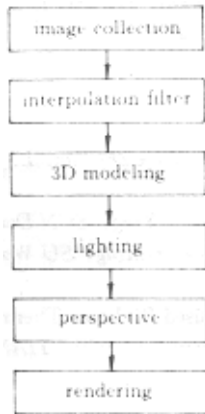


图 3 LCSM 系统三维重构方框图

Fig. 3 Scheme of 3D reconstruction of LCSM system

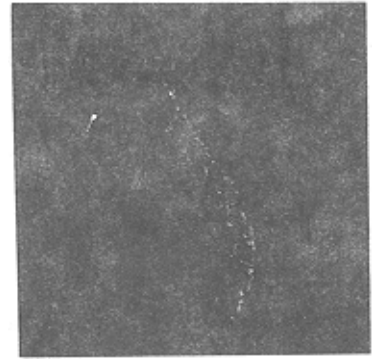


图 4 标本断面图像

Fig. 4 Section image of specimen



图 5 三维重构图像

Fig. 5 Image of 3D reconstruction

生成逼真的三维图形。图 4 为 LCSM 系统采集的一幅螺旋藻断层平面荧光图像,图 5 为利用 LCSM 系统采集的系列螺旋藻断层平面图像(256×256×60)进行三维重建的结果。

### 参 考 文 献

- 1 Hu Maohai, Tao Chuncan, Bian Songling *et al.*. The imaging realization of confocal scanning optical microscope in VC++ [J]. *J. Appl. Opt.* (应用光学), 2001, 22(1): 27~29 (in Chinese)
- 2 Ulf Tiede, Karl Heinz Hoehne. Investigation of medical 3D-rendering algorithms [J]. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 1990, 10(3): 41~65
- 3 T. A. Foley. *Computer Graphics: Principles and Practice* [M]. Addison Wesley Publisher Company, 1990
- 4 M. Levoy. Display of surface from volume data [J]. *IEEE Computer Graphics and Application*, 1988, 8(3): 29~37
- 5 J. Kajiya, B. Von Herzen. Ray tracing volume densities [J]. *Computer Graphics*, 1984, 18(3): 165~173
- 6 Lee Westover. Footprint evaluation for volume rendering [J]. *Computer Graphics*, 1990, 24(4): 367~376
- 7 Robert A. Drebin. Volume rendering [J]. *Computer Graphics*, 1988, 22(4): 65~74
- 8 Wu Bin. The Example and Technique of Programme with Open GL [M]. Beijing: The Press of People Post, 1999. 181~220 (in Chinese)