

文章编号: 0258-7025(2001)10-0929-03

激光共焦扫描光学显微镜系统中的图像 层间插值技术*

黄 琳 陶纯堪 卞松龄 高万荣 胡茂海

(南京理工大学电光学院 南京 210014)

提要 由断层图像恢复出目标物体的三维图像是激光共焦扫描光学显微镜(LCSM)系统的重要部分。提出了基于距离变换的断层图像插值方法来获得三维重构时的数据场。此方法由于在插值时考虑了目标物体的整体特征,从而使插值具有连续性。

关键词 LCSM 系统 距离变换 层间插值

中图分类号 TH 742.64, TP 391.41 **文献标识码** A

Interpolation Methods in the LCSM System

HUANG Lin TAO Cun-kan BIAN Song-lin GAO Wan-rong HU Mao-hai

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210014)

Abstract The laser confocal scanning microscopic (LCSM) system is one kind of modern microscopic instruments which is characterized by its 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 interpolation based on distance transformation from cross-sections about LCSM system images are considered and obtain isotropic resolution three-dimension image data.

Key words system of LCSM, distance transformation, interpolation from cross-sections

1 引 言

激光共焦扫描光学显微镜(LCSM)是近十年来才迅速发展起来的一种高精度显微成像技术,它是光学为基础,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,呈现出目标物体的三维图像。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。

三维图像更有利于人们对目标物体的观察、分析。因此,基于所采集的系列断层图像的三维重构是 LCSM 系统的最终目的。但由于设备、费用等方面的限制,由 LCSM 系统所采集到的图像, z 方向的采样间隔比 x, y 方向大。换言之,层间分辨率比层内分辨率要低得多。由于断层间存在着信息的不确定性,这就影响到最后对其进行三维重构的效果。于是就提出了这样一个问题:如何在两幅断层图像之间插入适当数量的断层图像,以获得符合要求的三维数据场^[1]。

由于算法比较简单,人们常用灰度图像线性插值来获得一个所需的插层。在某些情况下,如 z 间隔与 x, y 间隔相差不多的情况下,此方法能获得较好的结果。但当层间分辨率比层内分辨率要低得多时,这种方法使得插值有时与实际数值的误差较大。这是由于它只用到了局部的一些信息,而没考虑到结构形态特征。由于结构形态特征往往是整体性的,因此,线性插值适合于相邻图片具有较大相似性的图像,而对于非

* 南京理工大学青年教师基金资助课题。

收稿日期 2000-06-30;收到修改稿日期 2000-09-25

相似性的图像,就要求我们从原始断层图像中的结构形态的整体特征出发来对层间的插值图像进行估计。

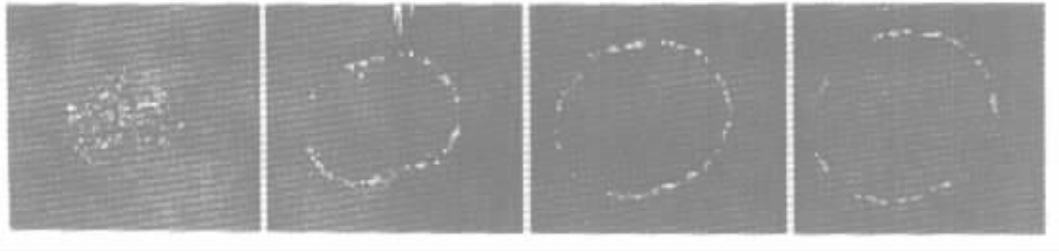


图 1 不同深度的细胞断层图像

Fig. 1 Cell images in different depths

可以看到,LCMSM 系统所采集到的图像具有较大的非相似性。因此基于本系统所采集到的图像特点,我们采用了这样一种插值方法:首先对原断层图像进行图像分割,提取出目标物体,再对分割后的两幅二值图像中的一幅施行距离变换(Distance Transformation)^[2,3],以求取一个模板对应于一个被插值图像,最后利用该模板来指导该插层图像的生成。下面主要介绍利用此方法进行层间插值的原理及方法。

所谓距离是指这样的函数,如果对所有点 p, q, r 有这样的关系:

- 1) 且仅当 $p = q$ 时 $d(p, q) = 0$;
- 2) $d(p, q) = d(q, p)$;
- 3) $d(p, r) \leq d(p, q) + d(q, r)$;

在一般情况下,距离函数被定义成欧几里德距离。在数字图像中距离可定义成更简单的函数,通常有市区距离、棋盘距离等。距离变换是基于数学形态学的一种数字图像处理技术,主要用于图像的数据压缩、骨架提取等。对于二值图像的距离变换是计算并标记图像中每个前景点到背景点的最近距离过程。即将原始图像由距离定义变换成一个灰度级图像,每个像素的灰度级是该像素与距其最近的背景像素间的距离。

一种近似的距离变换可以用一种类似于腐蚀的运算来实现,但在每一步,像素是以迭代次数来标记,而不是从物体中消去。倒角(chamfer)算法只需对整幅图像进行两次扫描就能实现一个距离变换^[4,5]。

一幅二值图像经过距离变换后,取阈值就可得到一系列的波阵图,如图 2 所示。它反映了图像整体结构形态的变化,这也就是指导二值图像运用距离变换进行插值的理论基础。

2 基于距离变换的插值原理

图 1 为 LCMSM 系统所采集到的不同深度的细胞断层图像。

设 $I = I(x, y, z)$ 是断层二值图像, $O = O(x, y, z)$ 是图像中的目标区域, $D = D(x, y, z)$ 为 I 的距离变换波阵图。定义离开目标边界的像素距离为

$$D(x, y, z) = \begin{cases} d_1(x, y, z) & \text{若 } I(x, y, z) \in O \\ d_2(x, y, z) & \text{若 } I(x, y, z) \notin O \end{cases}$$

令两断层二值图像为 $I_1(x, y, z_1)$ 和 $I_2(x, y, z_2)$, $I_1(x, y, z_1)$ 的距离变换结果用 $D_1(x, y, z_1)$ 表示。然后使用 $I_2(x, y, z_2)$ 对 $D_1(x, y, z_1)$ 进行掩模运算以求取目标模板 $D_2(x, y, z_2)$, 将 I_2 中目标区域的值记为“1”, 而其背景的值记为“0”。那么, 目标模板 $D_2(x, y, z_2)$ 为

$$D_2(x, y, z_2) = I_2 \times D_1 = \begin{cases} D_1(x, y, z_1) & \text{若 } I_2(x, y, z_2) \neq 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

由于 $D_2(x, y, z_2)$ 包含了目标 O_1 和 O_2 的形状信息, 因此, 它储存了两幅原始图像形状间的差异。这是用距离变换进行层间插值的依据所在。

3 LCMSM 系统中断层图像插值的方法

实现断层图像插值的方法由 4 个步骤:

- 1) 对原始断层图像进行分割。采用大京算法来求取阈值进而完成图像的分割。
- 2) 使用如前所述的方法来求取目标模板 $D_2(x, y, z_2)$ 。
- 3) 对目标模板 $D_2(x, y, z_2)$ 进行非线性插值。

我们采用数学形态学的腐蚀和膨胀运算来实现对目标模板 $D_2(x, y, z_2)$ 的非线性插值。对于 $D_2(x, y, z_2)$ 是同时进行腐蚀和膨胀运算的。如果目标模板像素属于 $I_1(x, y, z_1)$ 的背景, 则对其进行腐蚀运算; 反之, 则对其进行膨胀运算。

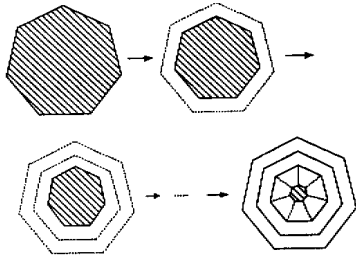


图2 二值图像经距离变换后形成的波阵图

Fig.2 Wavefront of binary images after distance transformation with different threshold

使用迭代法对目标模板 $D_2(x, y, z_2)$ 进行腐蚀和膨胀运算, 以使其产生形变, 从而产生中间插值断层。在每次迭代结束后, 可以得到一个插值断层的距离映射图。第 n 次迭代的结果为

$$D_2^n(x, y, z_2) = (D | \epsilon [D_2^{n-1}(x, y, z_2)])$$

其中, $D | \epsilon$ 表示膨胀和腐蚀的运算。

由于距离映射图 $D_2^n(x, y, z_2)$ 包含了两个原始断层图像中目标的形状, 使得第一个目标形状逐渐向第二个目标形状变化, 因此, 用距离映射图 $D_2^n(x, y, z_2)$ 来生成中间插值图像。而使用迭代法可以使一个目标形状在向另一个目标形状的变化过程中, 每次仅有微小的变化。

4) 采用掩模运算来产生插值断层图像:

$$f^n(x, y, z) = \begin{cases} 1 & \text{若 } D_2^n(x, y, z_2) \neq 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

图3是用模拟图像来进行插值的结果。左上角和右下角图像为原始图像。其他图像, 从左到右, 由上到下为各插值图像。可见, 从第一幅原始图像到第二幅原始图像, 目标形状的变化是缓慢而均匀的。

图4是对两幅螺旋藻断层图像利用本文的插值方法进行插值的结果, 图像的排列规则与图3相同。同样可见, 从第一幅原始图像到第二幅原始图像, 目标形状的变化是缓慢而均匀的。

基于距离变换的层间插值法有如下三个主要优点:

1) 在断层图像之间变化较大的区域, 如果采用线性插值只进行简单的计算, 易引入噪声, 产生过渡带。而基于距离变换的插值利用了图像的整体形态特征, 可以避免这样的过渡带。

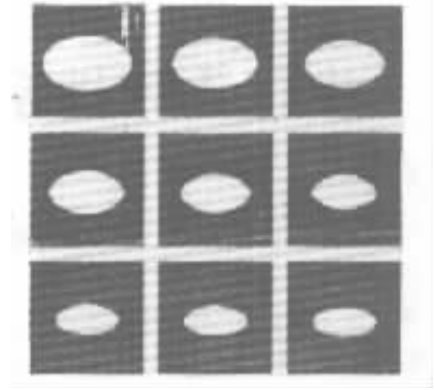


图3 两幅模拟图像间的插值

Fig.3 Interpolation for two images

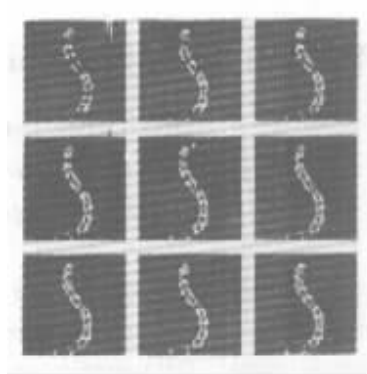


图4 两幅螺旋藻断层图像间的插值

Fig.4 Interpolation for two alga images in different depth

2) 基于距离变换的层间插值方法仅对一个原始目标进行距离变换, 提高了算法的效率。

3) 由插值得到的目标形状是从一个断层向另一个断层缓慢而均匀地变化, 使重构出的三维图像更加真实。

参 考 文 献

- 1 Robert A. Drebin, Loren Carpenter, Pat Hanrahan. Volume rendering. *Computer Graphics*, 1988, **22**(4): 65~74
- 2 S. P. Raya, J. K. Udupa. Shape-based interpolation of multidimensional objects. *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 1990, **9**(1): 32~42
- 3 Luo Bing. Shape-based interpolation for cross-section. *Journal of Image and Graphics* (中国图像图形学报), 1998, **3**(8): 675~677 (in Chinese)
- 4 Gunilla Borgefors. Distance transformations in arbitrary dimension. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1984, **27**: 321~345
- 5 Gunilla Borgefors. Distance transformations in digital images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1986, **34**: 344~371