

IDW 在医学断层图像可视化中的应用^①

Application of IDW to Medical Tomography Image Visualization

周 敏 黄 芳 (中南大学 信息科学与工程学院 湖南 长沙 410075)

摘 要: 针对在医学三维数据场可视化过程中用三线性插值方法显示三维图像在绘制速度中的不足, 利用反距离加权插值方法应用到医学断层图像可视化中。详细介绍了反距离加权插值算法的基本原理、实现技术和实验结果, 实验证明该方法在不明显降低绘制质量的前提下, 降低了插值次数, 提高了绘制速度。

关键词: 医学断层图像 可视化技术 三线性插值 反距离插值加权法

1 引言

体绘制技术是近年来得到迅速发展的一种三维数据场可视化方法, 在医学 CT 断层图像可视化展示中发挥了重要的作用。从 CT 断层设备获得的断层图像序列, 在空间三个方向上的间距不同, 即层内像素间距与层间距不同, 切片层数越多, 绘制后的图像质量越高, 当然, 绘制时间也相应增加。但由于相邻扫描层过于稀疏, 断层图像间的距离比断层图像内像素间的距离大很多时, 绘制出的三维图像的层间分辨率远低于层内分辨率, 绘制出的图像与真实物体之间有差异, 并且在切片间产生明显的台阶状结构, 而且生成的三维图像缺乏平滑柔和的效果, 因此, 需要在断层图像间通过插值来生成一些插值图像来弥补 CT 图像的不足。插值计算就是用来解决整个问题的。由于医学体绘制三维切片数据计算量大, 设计一个合理的插值算法既能保证绘制质量又能提高绘制速度成了该领域的一个重要课题。

目前, 应用于医学体绘制的插值算法主要有最近邻插值算法和三线性插值算法。最近邻插值算法简单的取与待求像素点相邻的八个像素点中相距最近的像素的灰度作为它的灰度值^[1], 该方法运算简单, 运行效率高。但重建后的图像可能出现边缘模糊现象, 模拟逼真度不高, 适用于层间距较小的层间插值。三线性插值通常根据采样点所在体元的 8 个顶点上已知的

数据值进行三轮共 7 次一维线性插值得到采样点的估计值。该插值算法假定数据值在切片数据层叠方向上呈线性变化, 通过两相邻切片图像上对应的像素间作插值, 得到新断层切片图像^[2]。该方法产生的图像质量较高, 图像绘制速度较慢, 但重建后的图像同样容易产生边界不清和结构模糊现象。用传统的三线性插值方法生成中间模拟图像数据插值的速度慢, 因此, 为了提高体数据的绘制速度, 并且在不明显降低图像质量的前提下, 利用反距离加权插值 IDW^[3](Inverse-Distance Weighting)来解决这个问题。

2 三线性插值算法分析

三线性插值是在三个方向上作一维线性插值, 从而形成三线性插值。下面就对三线性插值的一维形式以及基本原理概述如下。

2.1 三线性插值的一维形式

三线性插值的一维形式简称线性插值, 在计算机图形图像等领域中普遍使用的一种简单的插值方法。如图 1 所示。假设坐标点 $A(x_0, y_0)$ 和 $C(x_1, y_1)$ 是已知点, 插值点 $B(x, y)$ 是在区间 $[x_0, x_1]$ 中的所求值。由于直线上的斜率相等, 可以得到

$$\frac{y - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}$$

设方程两边的值为 m , 则, $y = (1 - m) \times y_0 + m \times y_1$ 这

① 基金项目:湖南省自然科学基金(05JJ40130);湖南省科技计划(2007FJ3069)

收稿时间:2009-02-04

样就可以通过 m 的值得到 y 的值,从而完成一次线性插值计算^[4]。

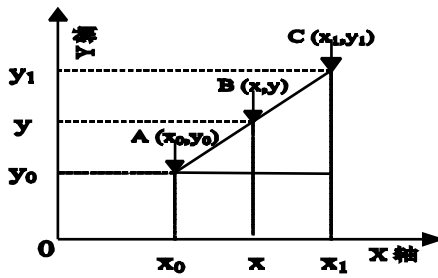


图 1 三线插值的一维形式

2.2 三线插值算法基本原理

在三线性插值方法中,通过三线插值计算出再采样点的灰度值,重新组合三维数据体,使采样点在三个方向上的间距相等。如图 2 所示体素,黑色顶点 $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8$ 代表已知函数值的采样点, $f(V_1), f(V_2), f(V_3), f(V_4), f(V_5), f(V_6), f(V_7), f(V_8)$, 为对应的函数值。阴影点代表待插值点, $f(E)$ 代表其函数值。根据 8 个相邻点的函数值计算插值点的函数值,根据三线插值原理,要作 x, y, z 三个方向上的线性插值。

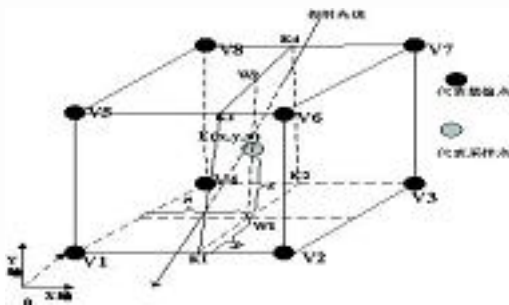


图 2 三线插值模型图

首先在 y 方向上做 4 次线性插值,由 $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8$ 两两作 4 次线性插值分别得到 K_1, K_2, K_3, K_4 的值 $f(K_1), f(K_2), f(K_3), f(K_4)$ 。之后,在 z 方向上作 2 次线性插值,由 K_1, K_2, K_3, K_4 两两作 1 次线性插值分别得到 W_1, W_2 的值 $f(W_1), f(W_2)$ 。最后,在 x 方向上做 1 次线性插值,由 W_1, W_2 作线性插值得到 E 的值 $f(E)$ 。根据以上推导,假设体元的顶点 V_1 在坐标原点,则体元内任一点 E 的体数据值可用式(1)三元插值函数来估计,即^[5]:

$$f(E) = b_1 + b_2x + b_3y + b_4z + b_5xy + b_6xz + b_7yz + b_8xyz \quad (1)$$

当在体绘制过程中进行插值计算时,可用式(2)插

值公式计算插值点的函数值^[6]。

$$f(E) = (1-x)(1-y)(1-z)b_1 + x(1-y)(1-z)b_2 + (1-x)y(1-z)b_3 + xy(1-z)b_4 + (1-x)(1-y)zb_5 + x(1-y)(1-z)b_6 + (1-x)yzb_7 + xyzb_8 \quad (2)$$

3 反距离加权插值算法

3.1 IDW 的基本思想

IDW 是用于散乱数据插值的技术之一。设空间待插点为 $P(Xp, Yp, Zp)$, P 点邻域内有已知点 $Q_i(x_i, y_i, z_i)$, $i=1, 2, 3, \dots, n$, 利用距离加权反比法的属性值 Zp 进行插值。待插点的属性值是待插点邻域内已知点属性值的加权平均,权的大小与待插点与邻域内点之间的距离有关,是一种跟距离的倒数成反比关系的插值方法^[2]。它以插值点与采样点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的采样点赋予的权重越大,配给的权重是分数,所有权重的总和等于 1,当插值点与采样点重合时,该采样点被分配全部的权重^[7]。这种方法简单易行,但缺点是容易受极值的影响。其一般公式^[8]

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i(x, y) f(x_i, y_i) \quad (3)$$

w_i 是分配给每个采样点的权重, n 取 4, 权重公式为

$$w_i(x, y) = \frac{1/h_i^2(x, y)}{\sum_{i=1}^4 1/h_i^2(x, y)} \quad (4)$$

$h_i^2(x, y) = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2$ 是插值点到相应 4 个顶点之间的距离。

在计算插值点数据时,当插值点的坐标与某个原始顶点的坐标一致时,导致插值点与该顶点之间的距离为零,从而要给该插值点赋予全部的权重,因此,当插值点恰好在顶点上时,我们就把该顶点的值赋予给该插值点。

3.2 算法描述

现在采用反距离插值算法对三维数据场进行插值,其核心公式为式(3)、(4),很明显, D_1, D_2 分别为插值前后的三维数据集, $dist$ 为光线与三维数据场相交的距离, $alpha$ 为体素的不透明度值, $scalar$ 为重采样点的灰度值, m_step_length 为采样步长, $(a_1, b_1), (a_2, b_2), (a_3, b_3)$ 分别为体数据场在三个方向上的取值范围, $alpha$ 为体素的累计不透明度值, 体素的不透明度值, $BackroundColor$ 为初始背景颜色,

其插值算法描述如下:

```

begin
  Input:regular 3D data set D1={d1|(x1,y1,
z1)}
  Output:symmetrical      3D      data
  D2={d2|(x2,y2,z2)}
  for i=1 to the screen' s rows
    for j=1 to the screen' s ranks
      O→opacity;
      BackgroundColor→image[i,j];
      if(a1<x<b1&&a2<x<b2&&
a3<x<b3)
        then
          while(dist<0&&alpha<1) {
            get the coordinate of Interpo-
            lationpot point and the near-est four
            sampling points;
            compute the scalar value:

            scalar = 
$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_i^2(x,y)} \times f(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_i^2(x,y)}};$$


            compute the color and
            opacity value;
            compute the next sampling
            point;
          }
          integrate the the color of
          every sampling point's color
          into image[i,j];
        end-for-i;
      end-for-j;
    end
  end

```

4 实验分析

4.1 实验环境

在一台电脑上进行了实验。该电脑的 CPU 是 Intel(R) Pentium(R) M processor 1.40GHz,内存空间是 512M。操作系统是 Windows XP SP2。显示器模式为 1024*768 真彩色。在实验过程中,采用 VTK 技术来进行实验。VTK 是由美国 Kitware

公司开发的面向对象的可视化类库。本文所涉及的实验结果都是在 VTK 类库的支持下绘制而成。转换后的图像是由一定数目由白到黑不同灰度级别的像素按矩阵排列而成。数据中每一张断层图像上的像素信息组成一个二维数组,数组中的每个灰度值介于 0~255 之间。采用的开发语言是 C++,开发工具是 VC++ 6.0。实验数据采用 CT 心脏切片数据,数据大小为 512×512。

4.2 实验结果

从两个算法结构来看,通过对比算法运算的复杂度,每运算一个插值点,三线性插值算法运算要 24 次乘(除)法和 20 次加(减)法,而反距离加权只要 16 次乘(除)法,8 次(减)法,因此,反距离插值比三线性插值的运算量要少,在软件硬件设施同等条件下,反距离插值的运算时间要少一些,相应的,插值速度也快些。表 1 是采用光线投射法进行两种插值计算对比的数据。

表 1 用 IDW 进行插值计算的对比实验数据

组 条件	第一组		第二组		第三组	
	切片 数量	65		122		23
插值	三线性	IDW	三线性	IDW	三线性	IDW
时间	16.7	11.1	33.2	28.5	12.8	6.6

在切片数量同等的情况下,分别进行了三组在三线性和 IDW 插值条件下的实验。表 1 中的六组时间均是在光线投射方法整个过程中通过 6 次运行测试数据的平均运行时间,时间的单位为秒。可以看出,采用 IDW 方法比三线性插值方法可以节省时间。随着切片数据量的增多,绘制时间相应增加。



图 3 三线性插值绘制图



图 4 IDW 插值绘制图

图 3、图 4 分别为进行三线性插值运算、进行 IDW 插值绘制的效果图。根据图 3、图 4 所示,在切片间距不是很大的情况下,两张图像在质量上并没有什么很明显的差别,而且都没有出现明显台阶状结构。

5 结论

插值计算是光线投射算法中的一个基本运算,由于在整个成像过程中,每次采样都需要重新进行插值,其运算量很大。因此,快速的插值计算是提高绘制速度的一个重要手段。我们在深入分析传统三线性插值计算方法的基本原理及其在绘制过程中的作用后,根据三线性插值在速度上的不足,利用基于空间插值的 IDW 方法。IDW 在不明显降低图像绘制质量的情况下,在一定程度上可以减少插值计算的次数,从而减少总的绘制时间。实验表明,将 IDW 应用于医学体数据切片间的插值计算,在不明显影响成像质量的前提下,提高了绘制速度。

参考文献

1 梁训东,李斌,刘慎权.光线投射体绘制算法的一种快速采样方法.计算机工程,1994:677-682.

2 鲍苏苏,林斌.基于轮廓插值加权算法的研究.重庆师范学院学报(自然科学版),2003,20(3):30-32.

3 Lu GY, Wong DW. An adaptive inverse distance weighting spatial interpolation technique. Computers & Geosciences, 2008,(34):1044-1055.

4 http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_interpolation

5 Upson C, Keeler M. V-BUFFER: Visible Volume Rendering. Computer Graphics, 1988,20(4):59-64.

6 Rajon DA, Bolch WE. Marching cube algorithm: review and trilinear interpolation adaptation for image-based dosimetric models. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2003,27:411-435.

7 Patrick M, Bartier C, Keller P. Multi variate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting(idw). Computer & Geosciences, 1996,22(7):795-799.

8 He QH, Zhang ZX, Yi C. 3D fluorescence spectral data interpolation by using IDW. Computers & Geosciences, 2006,(32):43-51.