

## 基于形状的二维灰度图象插值

孟晋宇 舒华忠 鲍旭东 李松毅 罗立民

(东南大学生物科学与医学工程系, 南京 210096)

**摘要** 内插是三维重建中的一个重要步骤. 一般传统的插值算法大体可分为灰度插值和基于对象形状的插值两种. 其中直接的灰度插值对二值及灰度图象均适用, 但结果在多数情况下并不准确; 而基于形状的插值, 早期仅适用于二值图象. 近来, 人们将两者较好地结合起来, 使得基于形状的插值同样适用于灰度图象. 为了克服直接灰度插值易造成较严重的轮廓模糊问题及为克服 Chuang 等人提出用基于形状的插值方法求得的对对应点易产生偏差的问题, 提出了一种新的基于形状的二维灰度图象插值算法. 该算法首先采用数学形态学的方法分别对两幅源图象进行膨胀和腐蚀, 用于确定插值图象的轮廓; 然后对轮廓内的点, 分别找出其在两幅源图象上的对应点, 再通过灰度的线性插值来求得此点的灰度, 进而得到最终的插值图象. 实验结果表明, 此算法得到的插值结果是令人满意的.

**关键词** 计算机图象处理(520·6040) 二维灰度 图象插值 数学形态学 正交矩

**中图法分类号:** R814.42-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)03-0311-06

## Shape-based Interpolation of Grey-level Images

MENG Jin-yu, SHU Hua-zhong, BAO Xu-dong, LI Song-yi, LUO Li-ming

(Department of Biology and Medical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096)

**Abstract** Typically, the image data we get are anisotropic, that is, the distance between adjacent image elements within a slice is different from the spacing between adjacent image elements in two neighboring slices. Interpolation is the key to convert such anisotropic data into isotropic one. The traditional interpolation methods include grey-level interpolation and shape-based interpolation. But both of them have their own shortcomings. Grey-level interpolation is easy to blur the object's boundary and shape-based interpolation is nearly limited to binary images only. In this paper, in order to solve these questions, we present a new way to interpolate grey-level images, which is based on the shape of these images. First, we use mathematical morphology to acquire the contour of the interpolated image. To each point in this contour, we find the corresponding points in both original images. According to the acquired grey value of the two corresponding points, we use linear interpolation to calculate the grey value of the interpolated point. Once we acquire each point's gray value, we obtain the final interpolated image. The experimental results show that the new method is effective.

**Keywords** Interpolation of images, Mathematical morphology, Orthogonal moments

## 0 引言

随着各种影像技术的发展, 使人们能够非常容易地获得一系列断层图象, 如 CT, MRI. 然而在绝大多数情况下, 人们所获得的这些离散图象数据不能满足临床需要. 例如相邻两层图象的距离一般都要大于同一断层图象中相邻像素的距离. 不仅如此,

断层图象之间的距离有时也不尽相同. 为了解决这些问题, 人们提出了用图象插值的方法来将这些各向异分辨率的断层图象转变成同分辨率的图象, 以便对它们进行后续处理和分析.

一般来说, 图象插值方法大体可分为灰度插值和基于形状的插值两种. 其中, 直接的灰度插值, 由于会造成较严重的轮廓模糊, 因而不利于后续的边缘提取等操作; 而早期的基于形状的插值也仅适用

于二值图象。近来,人们将二者结合起来,得到了较好的插值结果,其中较典型的有 Goshtasby 等人提出的算法<sup>[1]</sup>、Grevera 和 Udupa 提出的算法<sup>[2]</sup>,以及 Higgins 等人提出的算法<sup>[3]</sup>等。Grevera 和 Udupa 曾将这些算法和直接的灰度插值算法进行了比较,并证明了后者要优于前者<sup>[4]</sup>。此外,Chuang 等人提出的基于形状的插值方法<sup>[5]</sup>虽较为新颖,但算法在提取图象轮廓,并对它们进行多边形逼近后,由于要求这些多边形应尽可能地相似,否则求得的对对应点就会产生偏差,因而影响了最终的插值结果。而基于形状的二维灰度图象插值算法由于克服了上述不足,所以取得了令人满意的插值结果。

### 1 算法介绍

用集合  $S=(V, f)$  来表示已知的所有断层图象。 $V$  为所有点的集合,其元素  $v=(x, y, z)$  表示点在空间的坐标。函数  $f:V \rightarrow Y$  定义了任一点的灰度值。如果  $Y$  只有 0 和 1 两个值,则  $S$  为二值图象。如  $Y$  所有的元素值都在 0 和 255 之间,则  $S$  为灰度图象(本文中讨论的图象均为灰度图象)。如对某一断层扫描 CT 图象,假设为第  $i$  层,可将其定义为  $S_i=(V_i, f_i)$ ,其中  $V_i=\{(x, y, z) | z=i\}$ 。

给定两幅断层扫描 CT 图象  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$ ,为了通过插值来构造出它们之间的断层图象  $S'_k$ ,算法首先利用数学形态学的膨胀和腐蚀运算来确定  $S'_k$  的边界  $C'_k$ ;然后采用基于矩的方法来对此边界进行多边形逼近,同时对位于此多边形之内和之外的点,分别采用不同的算法来求得此点在  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  上的对应点;最后用灰度线性插值算法来求得此点的灰度,进而得到最终的插值图象  $S'_k$ 。算法步骤如下:

#### 步骤 1 确定 $S'_k$ 的边界 $C'_k$

可采用 Bors 等人提出的基于数学形态学的算法<sup>[6]</sup>,即首先依据图象分割的理论提取出灰度图象  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  的边界  $C_{k-1}$  和  $C_{k+1}$ ,并将物体置为黑色,背景设成白色,这样就构造出两幅二值图象。这两幅二值图象上的物体分别用  $X_{k-1}, X_{k+1}$  表示,  $X_{k-1}$  和  $X_{k+1}$  为它们的补集,表示背景。令  $x_{m,k-1}=(x, y, z)$  表示  $X_{k-1}$  中的任一点,其中,  $z=k-1$ ,同样  $x_{m,k+1}$  表示  $X_{k+1}$  中的任一点。可通过平移的方法使得  $X_{k-1}, X_{k+1}$  的中心大致处在同一位置。此时,对任一位于  $X_{k-1}$  边界上的点  $c_{m,k-1}$ , (即  $c_{m,k-1} \in C_{k-1}$ ) 来说,对应的  $c_{m,k+1}$  只可能有下面 3 种情况:

(1)  $c_{m,k-1} \in X_{k+1}$ , 且  $c_{m,k+1} \in C_{k+1}$ , 即点  $c_{m,k+1}$  位于  $X_{k+1}$  的内部,但不在边界上。此时执行  $c_{m,k-1} \oplus B$ , 式中  $\oplus$  表示膨胀运算,  $B$  为结构算子,结构算子采用了半径为 1 个单位的单位球。

(2)  $c_{m,k+1} \in X_{k+1}^c$ , 且  $c_{m,k+1} \in C_{k+1}$ , 即点  $c_{m,k+1}$  处在背景区域。此时执行  $c_{m,k-1} \ominus B$ , 式中  $\ominus$  表示腐蚀运算。

(3)  $c_{m,k-1} \in C_{k+1}$ , 即点  $c_{m,k+1}$  处在  $X_{k+1}$  的边界上。此时无需进行任何操作。

可用如下公式来综合上述 3 种变化,即

$$F(X_{k-1} | X_{k+1}) = ((X_{k-1} \ominus B) \cup ((X_{k-1} \cap X_{k+1}) \oplus B)) \cup (X_{k-1} \cup X_{k+1}) \quad (1)$$

可类似地定义

$$F(X_{k+1} | X_{k-1}) = ((X_{k+1} \ominus B) \cup ((X_{k+1} \cap X_{k-1}) \oplus B)) \cup (X_{k+1} \cup X_{k-1}) \quad (2)$$

将式(1)和式(2)分别作用于  $X_{k-1}, X_{k+1}$ , 可得到两幅新的二值图象。假定开始时,  $X_{k-1}, X_{k+1}$  之间的距离为  $d$ , 很明显, 两幅新的二值图象之间的距离为  $d-2$ , 因此, 要得到  $X_{k-1}, X_{k+1}$  之间所有的插值图象, 只需重复将式(1)和式(2)作用于先前产生的插值图象上, 直到最终的插值图象与  $X_{k-1}, X_{k+1}$  的距离均为  $d/2$  为止, 亦即插值图象位于  $X_{k-1}, X_{k+1}$  两者的中间。这样就得到一系列的二值图象。若找到与  $S'_k$  对应的  $X'_k$ , 并提取出它的边界  $C'_k$ , 则  $C'_k$  可近似看成是  $S'_k$  的边界。

步骤 2 找出  $S'_k$  上所有点在  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  上的对应点

此步骤是本算法的重点, 可分为如下 3 步进行:

(1) 采用文献[7]提出的基于矩的多边形逼近方法来确定初始边界  $C'_k$  的逼近多边形  $P'_k$ 。这里利用多边形逼近是为了能用尽可能少的点来反映边界  $C'_k$  的形状, 以方便后续的操作。假定  $C'_k$  上共有  $n$  个点, 其  $p+q$  阶 Legendre 矩为  $L_{p,q}$ 。如任意去掉其中一点, 那么剩下的  $n-1$  个点所围成的多边形的  $p+q$  阶 Legendre 矩为  $L'_{p,q}$ 。然后通过遍历  $C'_k$  上任一点  $i(i=0, 1, 2, \dots, n)$  来计算下述函数值

$$B(n-1) = \sum_{p=0}^M \sum_{q=0}^p |L_{p,q} - L'_{p,q}| \quad (3)$$

式中,  $M$  为任一正整数。

找到点  $k$ , 使得此时的  $B(n-1)$  值最小。如有多个相同的最小值, 则可任选其一。

此时若去掉点  $k$ , 即可得到顶点数为  $n-1$  的边界的逼近多边形。假设多边形  $P'_k$  的顶点数为  $N$ , 则

只需重复上述操作  $n - N$  次,并每次去掉一点,直至剩余  $N$  个点为止,然后顺次连接此  $N$  点,即可得到最终的逼近多边形。

在得到多边形  $P'_k$  后,就可构造它的相似多边形,即令  $P'_k$  的各顶点依次为  $\rho_{0,k}, \rho_{1,k}, \dots, \rho_{N-1,k}$ , 构造相似多边形时,首先顺次求出线段  $\rho_{0,k}\rho_{1,k}, \rho_{1,k}\rho_{2,k}, \dots, \rho_{N-1,k}$  的斜率  $K_1, K_2, \dots, K_{N-1}$ , 然后在边界  $C_{k-1}$  上,找到与顶点  $\rho_{0,k}$ , 位置大体相同的点  $\rho_{0,k-1}$ , 同时过  $\rho_{0,k-1}$  分别做斜率为  $K_1, K_2, \dots, K_{N-1}$  的直线,并与边界  $C_{k-1}$  相交于点  $\rho_{1,k-1}, \rho_{2,k-1}, \dots, \rho_{N-1,k-1}$ ; 最后依次连接  $\rho_{0,k-1}, \rho_{1,k-1}, \dots, \rho_{N-1,k-1}$ , 即得到与  $P'_k$  基本相似,并可近似逼近边界  $C_{k-1}$  的多边形  $P_{k-1}$ , 同理可求得多边形  $P_{k+1}$ 。

(2) 判断任一点  $a_k(x, y, k)$  在  $C'_k$  中的位置, 如该点位于多边形  $P'_k$  的内部, 则可用下述算法来找其对应点(如图1所示)。

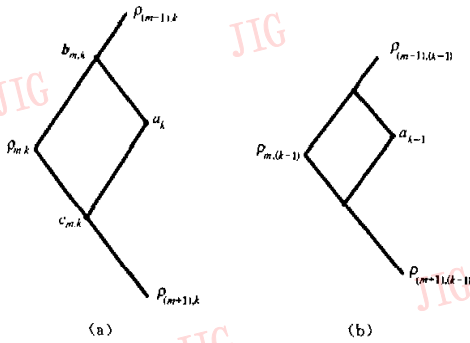


图1 求  $a_k$  的对应点  $a_{k-1}$

对任3个相邻的顶点  $\rho_{(m-1),k}, \rho_{m,k}, \rho_{(m+1),k}$  ( $1 \leq m \leq N-1$ ), 先过点  $a_k$  做  $\rho_{m,k}\rho_{(m+1),k}$  的平行线与  $\rho_{m,k}\rho_{(m-1),k}$  相交于点  $b_{m,k}$ , 再过  $a_k$  作  $\rho_{m,k}\rho_{(m-1),k}$  的平行线与  $\rho_{m,k}\rho_{(m+1),k}$  相交于点  $c_{m,k}$ . 为了确定此点与两条边的相对位置, 令

$$s_m = \frac{\|\rho_{m,k} - b_{m,k}\|}{\|\rho_{m,k} - \rho_{(m-1),k}\|} \quad (4)$$

$$t_m = \frac{\|\rho_{m,k} - c_{m,k}\|}{\|\rho_{m,k} - \rho_{(m+1),k}\|} \quad (5)$$

这里假设点  $a_k$  及其对应点  $a_{k-1}$ , 相对于各自所在的多边形  $P'_k, P'_{k-1}$  的位置是不变的, 即

$$\begin{aligned} a_{m,(k-1)} = & \rho_{m,(k-1)} + s \cdot (\rho_{(m-1),(k-1)} - \rho_{m,(k-1)}) + \\ & t \cdot (\rho_{(m+1),(k-1)} - \rho_{m,(k-1)}) \end{aligned} \quad (6)$$

$(1 \leq m \leq N-1)$

很明显, 由于  $m$  不同, 因此会得到  $N-1$  个不同点的坐标, 将它们综合考虑, 得

$$a_{k-1} = \left( \sum_{m=1}^{N-1} a_{m,(k-1)} \cdot w_m \right) \cdot \left( \sum_{m=1}^{N-1} w_m \right)^{-1} \quad (7)$$

其中,  $w_m = d_{m,k}^{-t}$ ,  $d_{m,k}$  为点  $a_k$  到顶点  $\rho_{m,k}$  的距离,  $t$  值可取  $0, 1, 2, 3$ .  $t$  值不同, 决定了各顶点权重的不同. 由式(7)可最终求得  $a_{k-1}$ , 同样可求出  $a_{k+1}$ 。

如用文献[5]的算法, 即分别用多边形  $P_{k-1}, P'_k, P_{k+1}$  来对边界  $C_{k-1}, C'_k, C_{k+1}$  进行逼近, 并用上述步骤2所述的算法来求对应点, 则容易产生较大误差(如图2所示)。

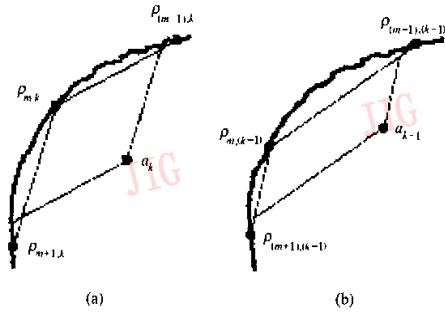


图2 文献[5]算法求对应点时产生误差示意

由图2可见, 当线段  $\rho_{(m-1),k}, \rho_{m,k}$  和  $\rho_{(m-1),(k-1)}, \rho_{m,(k-1)}$  线段  $\rho_{m,k}, \rho_{(m+1),k}$  和  $\rho_{m,(k-1)}, \rho_{(m+1),(k-1)}$  的斜率相差较大时, 其所求得的对对应点  $a_{k-1}$  就会产生偏差, 并影响到最终的插值结果; 而本文构造的相似的逼近多边形, 则较好地解决了此问题。

(3) 对位于多边形  $P'_k$  之外, 但却位于边界  $C'_k$  之内的点, 因文献[5]未考虑, 故做如下处理: 首先判断点  $a_k$  位于哪条边与  $C'_k$  相交形成的区域之内, 如图3(a)所示, 若点  $a_k$  位于边  $\rho_{1,k}\rho_{2,k}$  与  $\rho_{1,k}\rho_{2,k}$  弧相交形成的区域内, 则连接点  $a_k, \rho_{1,k}, \rho_{2,k}$  即可形成三角形; 随后根据三角公式就可很容易地求出线段  $a_k\rho_{1,k}$  和  $\rho_{1,k}\rho_{2,k}$  的夹角  $\theta_1$ , 线段  $a_k\rho_{2,k}$  和  $\rho_{1,k}\rho_{2,k}$  的夹角  $\theta_2$ 。

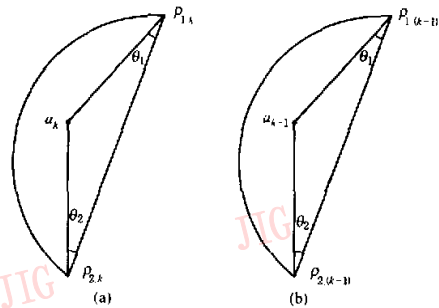


图3 求  $a_k$  的对应点

如图3(b)所示,若要求 $a_{k-1}$ ,则需首先求出线段 $\rho_{1,(k-1)}, \rho_{2,(k-1)}$ 的斜率 $K$ ,并假设线段 $a_{k-1}, \rho_{1,(k-1)}$ 和线段 $\rho_{1,(k-1)}, \rho_{2,(k-1)}$ 之间的夹角仍为 $\theta_1$ ,而 $a_{k-1}, \rho_{2,(k-1)}$ 和 $\rho_{1,(k-1)}, \rho_{2,(k-1)}$ 之间的夹角仍为 $\theta_2$ ;然后,根据角度 $\theta_1$ 以及斜率 $K$ 来求得线段 $a_{k-1}, \rho_{1,(k-1)}$ 的斜率 $K_1$ ,同时由角 $\theta_2$ 和 $K$ 求出线段 $a_{k-1}, \rho_{2,(k-1)}$ 的斜率 $K_2$ .假设 $a_{k-1}$ 的坐标为 $(x, y)$ ,  $\rho_{1,(k-1)}$ 的坐标为 $(x_1, y_1)$ ,  $\rho_{2,(k-1)}$ 的坐标为 $(x_2, y_2)$ , (由于在同一平面,故忽略了 $z$ 轴坐标),则

$$K_1 = \frac{y - y_1}{x - x_1} \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{y - y_2}{x - x_2} \quad (9)$$

解此方程组,得

$$\begin{aligned} x &= \frac{(K_1 x_1 - K_2 x_2 - y_1 + y_2)}{K_1 - K_2} \\ y &= \frac{((x_1 - x_2) \cdot K_1 \cdot K_2 + K_1 y_2 - K_2 y_1)}{K_1 - K_2} \end{aligned} \quad (10)$$

根据式(10),即可求得点 $a_{k-1}$ 的坐标,而点 $a_{k+1}$ 可用相同算法求得.

步骤3 用灰度线性插值算法得到 $a_k$ 的灰度得到 $a_{k-1}, a_{k+1}$ 后,即可得到它们的灰度 $f(a_{k-1}), f(a_{k+1})$ ,随后用前线性插值公式来求得 $f(a_k)$ .令 $S_{k-1}, S_{k+1}$ 之间的距离为 $d$ ,  $S_k, S_{k-1}$ 的距离为

$d_1$ ,则

$$f(a_k) = \frac{d-d_1}{d} f(a_{k-1}) + \frac{d_1}{d} f(a_{k+1}) \quad (11)$$

如点位于边界 $C'_k$ 之外,则直接将其赋成黑色.采用上述算法,遍历每一点,即可得到最终的插值图象 $S'_k$ .

## 2 实验结果

为了验证上述插值算法的有效性,采用下面几个判别标准来判断算法的优劣:

(1) 均方差 $\sigma(S_k)$

$$\sigma(S_k) = \frac{1}{M} \sum_{v \in S_k} |f_k(v) - f'_k(v)|^2, M \text{ 为 } S_k \text{ 中点的总数}$$

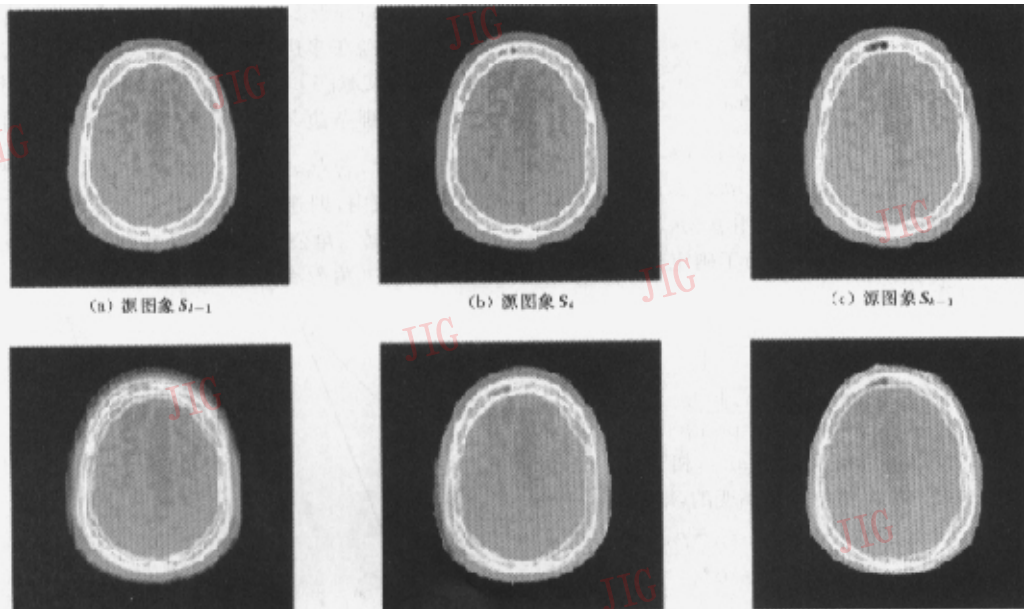
(2) 灰度值不等点的总数 $\beta(S_k)$

$$\beta(S_k) = \sum_{v \in S_k} \tau(f_k(v) - f'_k(v)), \tau(x) = \begin{cases} 1 & \text{若 } x \neq 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

(3) 所有点灰度差的绝对值之和 $\lambda(S_k)$

$$\lambda(S_k) = \sum_{v \in S_k} |f_k(v) - f'_k(v)|$$

利用一组人头断层扫描CT图象来对3种不同的插值算法进行比较实验,实验结果如图4、图5所示.图象大小均为 $512 \times 512$ .



(d) 用线性灰度插值算法得到的插值图象 (e) 用本文算法得到的插值图象 (f) 用文献[5]算法得到的插值图象

图4 人头断层扫描CT源图象及用不同插值算法得到的插值图象

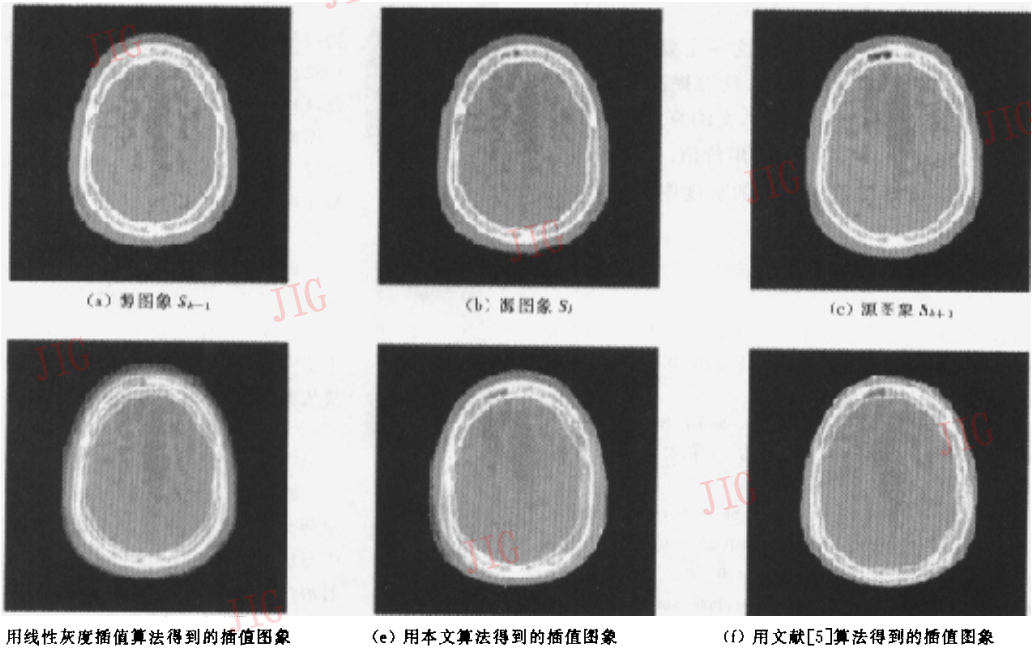


图 5 人头断层扫描 CT 源图象及用不同插值算法得到的插值图象

为叙述方便,这里将灰度线性插值算法称为算法 1,本文的算法称为算法 2,将文献[5]的算法称为算法 3. 然后依据上述 3 种判断准则,对图 4、图 5 中的  $S'_k$ ,各算法结果的评价如表 1、表 2 所示. 其中,图 5 中源图象  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  距离要比图 4 中  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  之间的距离大.

表 1

	算法 1	算法 2( $\omega=0$ )	算法 3( $\omega=0$ )
$\sigma(S_k)$	269.06	260.16	280.27
$\theta(S_k)$	65.196	62.896	63.300
$\lambda(S_k)$	1.600.796	1.511.790	1.658.494

表 2

	算法 1	算法 2( $\omega=1$ )	算法 3( $\omega=1$ )
$\sigma(S_k)$	400.53	229.42	402.58
$\theta(S_k)$	50.017	42.787	47.612
$\lambda(S_k)$	1.781.923	1.188.897	1.687.149

由表 1 可见,当  $\omega$  取 0 时,本文算法的任何一个指标均强于算法 1 和算法 3. 由于源图象  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  距离较小,因此用线性灰度插值算法得到的插值图象,其在各项指标上虽与本文算法的差距不大,但却造成了严重的轮廓重叠. 而算法 3 由于前述原因,其插值结果也不如本文算法.

由表 2 可看出,由于  $S_{k-1}$  和  $S_{k+1}$  之间距离较大,算法 1 得到的插值结果已远不如算法 2 和算法 3. 而此时,用本文算法得到的插值结果  $S'_k$  则可较好地

逼近原来的图象  $S_k$ ,在各项指标上均强于算法 1 和算法 3. 由此可见,本文提出的算法不失为一种好的灰度图象插值算法.

### 3 结 论

图象插值是图象三维重建工作中的一个重要环节,且插值结果的好坏直接影响到重建工作的进行. 传统的插值方法一般分为灰度插值和基于形状的插值两类. 由于文献[5]提出的算法既用到了物体形状的信息,又采用了线性灰度插值的方法,并将这两类传统的插值方法结合起来,因此使得基于形状的插值方法可以适用于灰度图象. 然而,由于利用此算法求得的对点,有时会产生较严重的偏差,因而会影响到最终的插值结果.

本文在文献[5]的基础上,对该文中的算法做了实质性的改进,提出了一种新的基于形状的插值算法. 实验表明,新算法具有如下的优点:首先,用较为新颖的数学形态学方法求得插值图象,其轮廓要好于用距离方法确定出的轮廓;其次,矩的快速算法可以较精确地用多边形来逼近物体的轮廓,并且多边形的顶点数只需小于轮廓上点的个数即可,而文献[5]则要求逼近多边形的顶点数必须是 2 的整数

幕;第三,本文较好地解决了文献[5]中,因多边形不相似而使求得的对应点不准确这一主要问题,并提出了较完善的求对应点的方法,从而提高了最终插值图象的质量.实验结果表明,本文的算法能得到令人满意的插值结果,有较好的实用价值.今后本课题将逐步研究物体形状差异很大的灰度图象插值,希望同样能得到好的插值结果.

### 参 考 文 献

- 1 Goshtrasby A, Turner D A, Ackerman L V. Matching tomographic slices for interpolation [J]. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 1992, 11(4): 507~516.
- 2 Grevera G J, Udupa J k. Shaped-based interpolation of multidimensional grey-level images [J]. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 1996, 15(6): 881~892.
- 3 Higgins W E, Morice C, Ritman E L. Shape-based interpolation of tree-like structures in three-dimensional images [J]. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 1993, 12(3): 439~450.
- 4 Grevera G J, Udupa J K. An objective comparison of 3-D image-interpolation methods [J]. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 1998, 17(4): 642~652.
- 5 Chuang K S, Chen C Y, Yuan L J *et al.* Shape-based grey-level image interpolation [J]. *Phus. Med. Bio.*, 1999, 44(6): 1565~1577.
- 6 Bors A G., Kechagias L, Pitas I. Binary morphological shape-based interpolation applied to 3-D tooth reconstruction [J]. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 2002, 21(2): 100~108.
- 7 Shu H Z, Luo L M, Zhou J D *et al.* Moment-based methods for polygonal approximation of digitized curves [J]. *Pattern Recognition*, 2002, 35(3): 421~434.



**孟晋宇** 1979年生,现为东南大学生物科学与医学工程系硕士研究生.目前主要研究方向为医学图象的三维重建.



**舒华忠** 1965年生,现为东南大学生物科学与医学工程系教授,博士生导师,1992年获法国雷恩大学数学专业博士学位,1995年至1997年在东南大学生物与医学图象实验室从事博士后研究工作.主要研究领域包括放射治疗计划优化、医学图象处理和模式识别等.



**鲍旭东** 1963年生,现为东南大学生物科学与医学工程系副教授,1986年获东南大学生物科学与医学工程系硕士学位.主持完成或参加各类研究项目近20项,主要从事医学图象处理及计算机软、硬件设计.



**李松毅** 1967年生,1990年毕业于华东师范大学物理系,现为东南大学生物科学与医学工程系讲师.主要研究方向为放射治疗计划系统、图象网络、UNIX网络系统等.



**罗立民** 1956年生,1986年获法国雷恩大学信息处理专业博士学位,现为东南大学生物科学与医学工程系教授,博士生导师,中国电子学会生物医学电子学会副主任委员,教育部“长江学者奖励计划”特聘教授,IEEE学会高级会员.长期从事医学图象处理和生物医学工程研究,发表论文近百篇,主持或参加各类项目二十多项.