

基于特征的三维移动平滑变形

李红旻 黄晓霞

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 数字图象变形是图象处理领域中的一个热点, 具有较大的实用价值. 通过对基于特征变形算法的分析, 在三维体素数据模型上, 提出了一种基于特征的散乱点三维变形算法. 在算法中首先采用移动平滑插值函数实现对变形扭曲的拟合, 其次采用融合等方法提高变形的精度和效果, 最后通过试验表明该算法是可行的. 该算法不但可以实现三维变形, 而且可以用于对二维影像的处理.

关键词 基于特征的变形 三维变形 移动平滑插值 融合

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)01-0057-05

Feature-Based Three Dimensional Smooth Morphing

LI Hong-ga, HUANG Xiao-xia

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract Image metamorphosis or image morphing, used for creating a smooth transition between two images, is a hotspot in the field of image processing. At present, the morphing processing focuses on two-dimensional images. With more and more images generated from three-dimensional models, extending the morphing techniques to three dimensional models is attracting more attention. In this paper, based on the analyses of feature-based metamorphosis, considering three dimensional data model, we put forward an algorithm on feature-based three dimensional morphing to deal with scattering data. In the algorithm, firstly shifting smooth interpolation is used to simulate the warp, then blending method is used to improve the precision and effect of morphing. The implementation shows that the method is reliable. The method is available for not only three dimensional, but also two dimensional image morphing.

Keywords Feature-based morphing, Three dimensional metamorphosis, Shifting smooth interpolation, Blending

0 引言

数字图象变形(Digital Image Morphing)技术是近年来图象处理领域中的一个热点, 通过图象之间点与点的空间映射关系, 从而产生特殊的效果^[1]. 该技术一方面应用于科学研究, 可为遥感、医学影像等图象提供几何校正配准; 另一方面, 通过构造一个中间影像序列, 描述两个影像之间的渐进变形, 形成真实世界中难以做到的特技效果, 在电影电视娱乐业和媒体广告中得到广泛应用.

早期的图象变形以处理二维图象为主, 采用淡

入淡出(Cross-Dissolve)技术, 利用源图象和目标图象的色彩值差别, 通过线性或非线性的变换, 建立色彩的中间过渡序列. 此外, 还存在着一类变形方法称为 Deformation, 将图象扭曲映射到一个三维或二维的曲面网格上, 网格作为形变工具来控制图象的变形^[2]. 曲面通常为参数曲面, 如 Bezier 曲面、B-样条曲面或者 NURBS 曲面. 改变参数, 曲面发生扭曲, 影射到曲面的图象相应变形. 以上方法, 一方面难以表达局部特征的变化, 另一方面, 不能提供从源图象到目标图象实体的自然运动状态. 因而, 基于特征的变形技术得到人们的重视^[3].

基于特征的变形(Feature-Based Morphing)技术,利用特征元素来表示图象上点线面实体特征的变化.特征元素以坐标对的形式出现,一个坐标在源图象中,另一个在目标图象中,坐标对代表图象之间相应特征的变化量^[4].为了获得精确的形变,则需要采用多个坐标对.获取坐标对可以采用规则网格或者散乱点两种方法.T. Beier 和 S. Neely 提出一种基于特征的散乱点自然变形技术,称之为域变形(Field Morphing),该方法允许对变形进行直观的控制,通过交互方式指定图象特征的多个坐标对,每一个坐标对对图象局部区域的移动、旋转和拉伸等作用形成影响域(Influence Field),从而达到对整个图象预期的变形效果.该方法视觉效果较好,但是效果与特征元素的数目和分布有关,而且当位置分布不均匀时,容易产生奇异点.

1 三维变形

随着实体三维造型和真实感绘制的发展^[5],将变形应用于三维模型产生的影像即三维变形(3D Morphing)技术逐渐受到人们的关注.M. Chen, M. W. Jones 和 P. Townsend 首先提出将二维形变向三维延伸的理论,S. W. Wang 等提出采用小波方法完成体(Volume)形变算法^[6],Apostolos Lerios 等人建立以体素位置、方向矢量以及拉伸比例为特征元素的体变形算法^[7].然而,对体模型的形变技术并不是只简单地将二维的特征形变算法向三维推广所能得到的.原因一方面在于三维坐标难于控制,另一方面是当散乱的控制点足够多时才能有

效逼近形变.

三维变形与二维变形在本质上有所不同,对于二维变形,当改变视点和光照时,影像不能得到正确的处理,阴影和光亮与形体特征是不能匹配的;其次,由于影像缺乏深度信息,发生形变时后面的物体不能相应出现.对于三维变形来说,产生的形变是独立于视角和光照参数的,因此,需要建立一个中间的变形序列,并且对中间序列可以采用不同的视角和光照.

这里需要指出的是,三维变形直接来源于三维模型,算法与模型密切相关.我们知道三维模型可以分为表面模型、线框模型和体模型.对于由体素构成的体模型来说,由于可以用简单的体素表示复杂的实体,虽然数据量较大,但是由于结构简单,因而得到较快的发展.在三维变形中,效果与三维模型的几何形体复杂程度和拓扑特征密切相关.对于体模型,其组成元素体素被认为是不可以划分的基本单元,如正方体、长方体等,拓扑关系相对简单,因而没有太多的约束条件.

本文根据前人的理论和实践,提出一种基于特征的三维体(Volume)变形算法.该算法将体素认为是特征的最小单位,在变形中体素形体大小不发生改变.由用户定义散乱的控制点,采用移动平滑的二次插值函数,构造由局部区域到全局的平滑变形过程.

2 研究方法

研究方法包括特征元素的选取、扭曲插值(Warp)和融合(Blend)3个部分(图1).

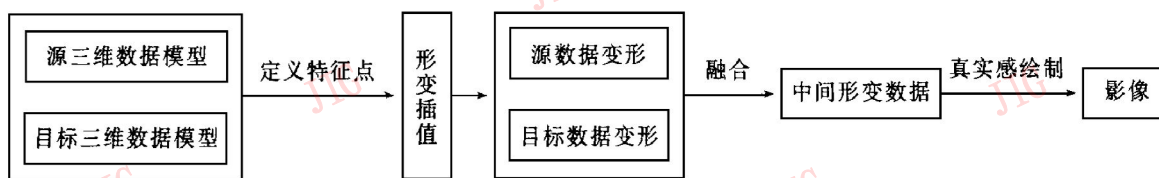


图1 研究方法流程

由于三维形体的复杂性,整体曲面拟合难于实现,这就决定了对形变只能采用局部区域内插的方法.对于散乱点的局部区域内插,需要采用较多具有代表性的控制点,控制点只能相应地影响该点附近一个小区域内的数据,对周围的数据采用拟合逼近的方法.在二维变形中,区域的划分常用 Delaunay 三角形,该方法将整个区域划分为若干个三角形,

在不同局部采用不同的函数拟合,计算速度较快,但是,在边界上容易产生断裂.在研究中我们采用一种移动拟合方法消除边界上的跳变.此外,三维形变较二维复杂,我们采用由源数据、目标数据分别向中间过程插值的方法,得到两组中间数据,采用融合的方法对中间数据进行处理,消除微小的误差,增强视觉效果.

2.1 特征元素的选取

对三维形体的变化采用散乱的控制点对表示. 由对应的离散点坐标对形成特征元素 $\langle \text{Source}, \text{Object} \rangle = \langle (X_s, Y_s, Z_s), (X_o, Y_o, Z_o) \rangle$, 特征元素反映了模型特征的形变. 特征的形变 M 为:

$$M = \sum (\overset{\omega}{P_o} - \overset{\omega}{P_s}) \quad (1)$$

当选择散乱特征元素时, 对源数据模型与目标数据模型中的不同区域采用人工交互方式, 均匀选择变化量较大或较小的控制点对, 采用三维数组存储特征元素. 由源和目标点拟合中间点, 而中间点的全体则是我们需要得到的中间变形数据(见图 2).

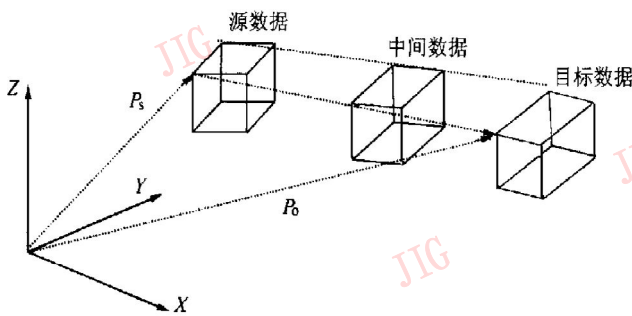


图 2 源数据、目标数据与中间数据的关系

2.2 扭曲插值

引起扭曲变形的方式有很多, 如平移、旋转、伸缩等, 很难一一理清, 而采用插值的方法很容易实现扭曲变形的拟合. 任意一种插值方法都是基于原始函数的连续光滑性, 或者说是相邻近的数据点之间存在着很大的相关性, 才有可能由邻近的数据点内插出指定的数据点. 在移动平滑算法中, 依次以每一个体素为中心, 利用周围离散的特征元素建立一个局部函数去拟合目标点. 这样计算方法简单, 精度较高, 避免了边界上变形的断裂, 因而能得到连续的结果, 但计算速度比其它方法慢. 具体算法如下:

(1) 建立局部坐标系

将坐标原点移到待定内插点 $P(X_p, Y_p, Z_p)$, 建立局部坐标系.

$$\begin{cases} \bar{X}_i = X_i - X_p \\ \bar{Y}_i = Y_i - Y_p \\ \bar{Z}_i = Z_i - Z_p \end{cases} \quad (2)$$

(2) 选取特征点

以 R 为半径作球, 落在球内的特征元素即被选中, 所选择的点数根据所采用的局部拟合函数来确定, 例如, 在二次函数内插时, 要求选用的特征点个数 $n \geq 10$; 当数据点 P_i 到待定点的距离

$$d_i = \sqrt{\bar{X}_i^2 + \bar{Y}_i^2 + \bar{Z}_i^2} < R \quad (3)$$

时, 该点即被选用. 若选择的点数不够时, 则应增大 R 的数值, 直到数据点的个数 n 满足要求.

(3) 列出误差方程式

若选择二次拟合函数:

$$u = Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Iz + K \quad (4)$$

其中 $A, B, C, D, E, F, G, H, I, K$ 为系数, u 为变形在坐标轴上的投影.

则数据点 P_i 对应的误差方程式为

$$v_i = A\bar{X}_i^2 + B\bar{Y}_i^2 + C\bar{Z}_i^2 + D\bar{X}_i\bar{Y}_i + E\bar{X}_i\bar{Z}_i + E\bar{Y}_i\bar{Z}_i + G\bar{X}_i + H\bar{Y}_i + I\bar{Z}_i + K - u_i \quad (5)$$

v_i 为 i 点误差, 由 n 个数据点列出的误差方程为

$$V = WX - U \quad (6)$$

其中,

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}; W = \begin{bmatrix} \bar{X}_1^2 & \bar{Y}_1^2 & \bar{Z}_1^2 & \bar{X}_1\bar{Y}_1 & \bar{X}_1\bar{Z}_1 & \dots & 1 \\ \bar{X}_2^2 & \bar{Y}_2^2 & \bar{Z}_2^2 & \bar{X}_2\bar{Y}_2 & \bar{X}_2\bar{Z}_2 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{X}_n^2 & \bar{Y}_n^2 & \bar{Z}_n^2 & \bar{X}_n\bar{Y}_n & \bar{X}_n\bar{Z}_n & \dots & 1 \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} A \\ B \\ \vdots \\ K \end{bmatrix}.$$

(4) 设置数据点的权

这里的权 p_i 反映了该点与待定点的相关程度. 因此, 通常采用特征点与待定点距离的远近 d_i 作为权. d_i 越大, 则对待定点的影响越小, 权值越小; d_i 越小, 则权越大. 常采用的权可以为 $p_i = 1/d_i^2$, 或则 $p_i = 1/d_i$ 等多种形式, 这里我们采用 $p_i = 1/d_i$.

(5) 最小二乘法求解

根据最小二乘法, 二次函数的系数解为:

$$X = (W^T P W)^{-1} W^T P U \quad (7)$$

利用二次函数移动拟合内插时, 除了需要足够的特征点之外, 同时精度与特征点的分布有关. 当特征点较稀疏或者分布不均匀时, 有可能产生误差.

(6) 插值

根据特征元素, 我们得到了形变在 X, Y, Z 方向上的变化量. 对于形变, 可以从 X, Y, Z 3 个方面逼近拟合, 算法分 3 次完成, 第一次沿横向 X 对数据作图形处理, 将 $dx = (X_o - X_s)$ 代入上面的 V 中, 可以计算出三维模型中 X 位置的光滑插值. 第二次, 沿纵向 Y 对数据作变形处理. 第三次, 沿高度 Z 处理, 从而完成三维形变过程(见图 3).

在实际应用中为了获得较高的精度, 分别从源图象、目标图象向中间内插, 得到中间形体 M_s, M_o .

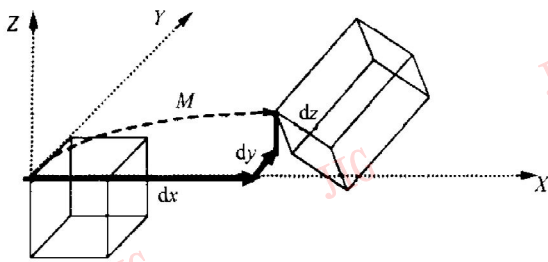


图3 沿X-Y-Z插值示意图

2.3 色彩融合

由于三维形体的复杂性,以上移动插值在细节处可能出现误差,因而,可以采用色彩融合方法消除局部细微处视觉误差.色彩融合方法两种,一种是对 M_s 和 M_o 真实感绘制之后的影像采取融合,称之为2.5维融合;另一种是对 M_s 和 M_o 融合之后,才对数据进行绘制,称为三维融合^[7].2.5维和三维的色彩融合,都可以达到使光照和阴影独立于三维数据模型的目的.然而,从2.5维与三维的色彩融合对比来看,三维融合明显好于2.5维,这是由于在2.5维融合中颜色容易跳变.

三维色彩融合是指将输入实体相同位置上的色彩数据 (R, G, B, A) 进行合并.用 C_s 代表输入的源图象 M_s 色彩, C_o 代表输入的目标图象 M_o 色彩,则色彩融合可以表示为:

$$C = C_s \cdot S + C_o \cdot O \quad (8)$$

其中, S 和 O 为权重矩阵,权重的设置与选取的中间帧位置有关.

2.4 算法流程

近几年,国内外对体数据的三维绘制进行了大量的研究,其算法基本可以归为两类:一类是基于面的表达方式,这种方法根据按要求选定的阈值将体数据转换为等值面,或者搜寻体素的外表面,然后用体素浓淡算法形成曲面.另一类为体直接表达方法,认为体素均有一定的色彩、亮度以及透明度,对体素的值按一定模型直接投射到显示平面上,体空间具有一定的透明度,可由外部直接看到内部^[8].

综合上述,本文提出基于特征的三维图象变形算法,其流程可以用图4表示.在绘制中,将体素取其表面,转换为表面三角格网,进行面绘制(Surface Rendering)^[8].

本文以大气气团变化为例,数据库为 $40 \times 40 \times 40$ 个体素,硬件平台为Pentium Pro 200,软件平台为NT 4.0,在OpenGL图形库支持下,利用以上算法可以得到两期三维图象之间的变形,附图显示了从不

同角度观察得到的表面网格绘制图象.运算速度与图形复杂程度有关,实验中变形计算时间为8分钟.

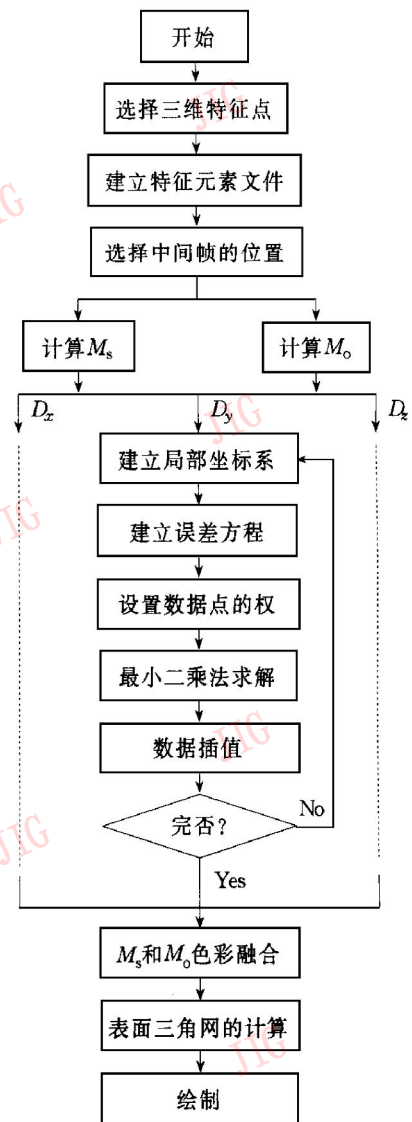


图4 算法流程

3 结论与展望

本文提出一种基于特征的三维体(Volume)变形算法,该算法与常规变形算法不同的是一方面以体素为单元,采用二次插值函数和融合的方法以及分别从源数据和目标数据建立中间数据等综合手段提高体(Volume)变形算法的效果;另一方面,二次插值函数是建立在移动平滑的过程之上,使特征之间过渡的平滑效果得到提高.该算法为以图形图象数据为基础的时态数据处理、数据显示和数据分析提供了较高精度的中间数据.从结果来看,虽然该算法复杂而且速度慢,但是其精度和效果是让人满意的.

该算法不但可以用在三维散乱插值中,还可以用在二维散乱插值中.同时,利用高精度的变形算法

能为科学数值分析计算提供动态模拟分析时的中间过程, 因而具有广阔的应用前景.

参 考 文 献

- 1 崔屹. 数字图象处理技术与应用. 北京: 电子工业出版社, 1996.
- 2 冯结青, 马利庄, 彭群生. 嵌入参数空间的曲面控制自由变形方法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1998, 10(3): 209~ 215.
- 3 劳志强, 潘云鹤. 一个基于特征的图象变形算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1998, 10(1): 1~ 6.
- 4 Beier T, Neerly S. Feature-based image metamorphosis.

- Computer Graphics, 1992, 26: 35~ 42.
- 5 Kaufman A, Cohen D, Yagel R. Volume graphics. Computer, 1993, 26(7): 51~ 63.
- 6 Wang S W, Kaufman A. Volume sculpting. In: Proceedings of 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics, ACM SIGGRAPH, 151~ 156.
- 7 Apostolos Lerios, Chase D Garfinkle, Marc Levoy. <http://www.graphics.stanford.edu>
- 8 李红沓, 崔伟宏. GIS 中多维数据可视化. 遥感学报, 1999, 3(2): 157~ 164.

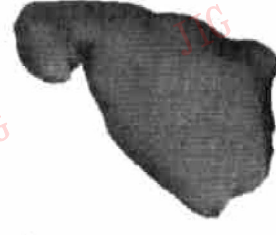
角度 1



源图象



中间插值图象



目标图象

角度 2



源图象



中间插值图象



目标图象

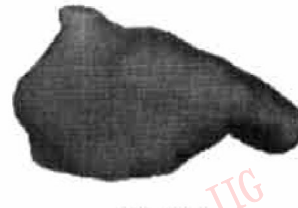
角度 3



源图象



中间插值图象



目标图象

附图 不同角度显示的从源图象到目标图象的变形



李红沓 中国科学院遥感应用研究所博士研究生. 主要研究方向为可视化、地理信息系统、区域可持续发展决策以及全球定位系统在车辆监控和智能引导中的应用.



黄晓霞 中国科学院遥感应用研究所博士. 主要研究方向为海洋遥感、遥感图象处理.