

断层图象插值的二维形变法*

罗 斌

(安徽大学电子工程与信息科学系,合肥 230039)

摘 要 提出了一种新的二维断层图象层间插值方法。该方法将有向距离变换和二维形变理论应用于断层图象的层间插值,继而应用于三维重建。该插值方法有3个步骤。首先,计算目标形状的位置和方向;其次,计算目标形状的距离映射图,并进行形状变换,最后,用迭代法对目标的位置和方向进行线性插值,对形状进行非线性插值。文中给出该插值方法应用于模拟图象和MRI图象的形状插值和三维重建的结果。

关键词 断层图象插值,形变,距离变换,形态学变换,三维重建

1 引言

断层图象插值是断层图象三维重建的关键技术之一。通常,断层间的距离比断层图象像素间的距离大得多。换句话说,层间分辨率比层内分辨率低得多。断层间存在信息的不确定性,影响三维重建的效果。对于断层图象序列的三维表面重建和实体重建,断层间插值以获得更多断层图象,模拟层间高分辨率是常用的方法。

断层图象插值方法可分为2类:灰度图象插值和形状插值。Goshtasby的灰度图象插值方法^[1],对相继断层间的对应点进行线性插值。Lin等的形状插值技术^[2]利用动态弹性模型对目标轮廓进行插值运算。引力场概念被引入以控制断层图象中目标的形状变化。Raya和Udupa等的形状插值^[3]对2个断层形状分别施行距离变换。然后对2个断层的距离图象进行插值计算从而获得插值形状。Higgins等的形状插值技术^[4]同时使用几何约束和灰度信息来重构树状结果,从而完成形状插值。

图象形变是一种图象序列构造技术,即一幅图象向另一幅图象逐渐变化,从而得到两幅图象的中间变形图象^[5]。存在两类图象形变技术:一类是Wolberg的栅格形变技术^[6](meshwarping),另一类

是Beier等的场形变技术^[7](field morphing)。

本文将图象形变概念引入断层图象插值,并利用距离变换和形态学变换,提出一种新的断层插值方法。该方法能进行自动插值,无需人工选择两断层间的对应点。与Raga和Udupa等的形状插值技术相比,该方法有3点明显不同。第一,仅对两幅断层图象中的一幅施行距离变换;第二,使用了图象掩模技术以储存两幅图象形状间的差异;第三,使用了数学形态学方法进行形变处理。此方法有一个前题,即两幅断层图象中目标形状均匀变化。因此,可从形状均匀变化的断层图象重建平滑的三维表面。

2 有向距离变换

距离变换是图象分析的有力工具。存在多种类型的距离变换,最常用的是城市街区和棋盘距离变换^[8]。

本文使用的距离变换与传统的距离变换不同。距离变换中允许出现正距离和负距离。从目标轮廓到目标内的距离为正值,而从轮廓到目标外或背景的距离为负值。我们假定目标的真实轮廓位于正负边界之间。

假设 $I=I(x,y,z)$ 是断层图象, $O=O(x,y,z)$ 是图象中的目标区域, $D=D(x,y,z)$ 为 I 的距离映

* 安徽省自然科学基金资助项目

收稿日期:1998-02-26

射图, (x, y, z) 是目标体素的三维坐标。我们定义离开目标轮廓的象素距离为:

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

其中, $d(x, y, z)$ 是从体素 $I(x, y, z)$ 到目标轮廓距离的绝对值。

3 目标的位置和方向

目标的位置和方向可用图象的矩来表示。

目标 O 的 $p+q$ 阶矩定义为:

$$m_z^{p,q} = \frac{\sum_{i=0}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{J_{\max}} i^p j^q O(i, j, z)}{\sum_{i=0}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{J_{\max}} O(i, j, z)} \quad (2)$$

目标的中心为其重心

$$\bar{V} = \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{10} \\ m_{01} \end{pmatrix} \quad (3)$$

目标的方向可用其近似椭圆的方向表示:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \quad (4)$$

其中,

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= m_{20} - m_{10}^2 \\ \sigma_y^2 &= m_{02} - m_{01}^2 \\ \sigma_{xy} &= m_{11} - m_{01}m_{10} \end{aligned}$$

4 基于距离变换的形变技术

本文的目标是在两幅断层图象之间插值断层图象而目标形状均匀变化, 以及重建目标的三维表面。控制目标形状均匀变化的方法是: 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变化。本文方法每次迭代时映射图中距离值最大的体素被改变。距离为正值的体素被腐蚀, 而距离为负值的体素被膨胀。形态变换的结果为中间插值形状。

令两断层图象为 $I_1(x, y, z_1)$ 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。掩模步骤使用 $I_2(x, y, z_2)$ 对 $D_1(x, y, z_1)$ 进行掩模运算。掩模运算等效于 I_2 和 D_1 的逐点对应相乘。 I_2 中目标区域 D_2 的值为“1”, 而且其背景的值“0”。掩模结果用 $D_2(x, y, z_2)$ 表示:

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

$D_2(x, y, z_2)$ 包含了目标 O_1 和 O_2 的形状信息。 D_2 中的非零元素为目标 O_2 的体素, 正值元素表示

其相应位置为目标 O_1 的位置, 负值元素位置代表该处处于目标 O_1 之外。 O_2 中的距离绝对值是离开 O_1 边界的距离值。因此, $D_2(x, y, z_2)$ 是联系两幅原始目标形状的桥梁。

5 断层形状插值的迭代运算

断层形状插值的迭代运算有 2 个步骤。

第 1 个步骤是对目标的位置和方向进行线性插值。假设目标的中心分别用 \bar{V}_1 和 \bar{V}_2 表示, 目标的方向分别用 θ_1 和 θ_2 表示, 断层插值的层数 D_{\max} 为迭代的次数。第 n 个插值断层的中心为:

$$\bar{V}_n = \frac{\bar{V}_1 - \bar{V}_2}{D_{\max} + 1} + \bar{V}_2 \quad (6)$$

第 n 个插值断层中目标的方向为:

$$\theta_n = \frac{\theta_1 - \theta_2}{D_{\max} + 1} + \theta_2 \quad (7)$$

第 2 个步骤为目标形状的非线性插值。使用形态学的腐蚀和膨胀运算实现这种非线性变换。对 $D_2(x, y, z_2)$ 同时施行腐蚀和膨胀运算。如果轮廓象素为负值, 对其进行腐蚀运算。否则对其进行膨胀运算(见图 1)。

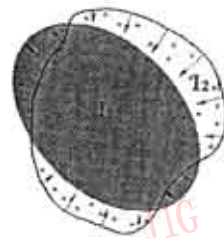


图 1 形状变化示意图

用迭代法对 $D_2(x, y, z_2)$ 进行腐蚀和膨胀使其产生形变从而产生中间插值断层。在每次迭代结束后, 我们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:

$$D_2^{(n)}(x, y, z_2) = (D|\epsilon)[D_2^{(n-1)}(x, y, z_2)] \quad (8)$$

其中, $D|\epsilon$ 表示膨胀和腐蚀的联合形态变换。实验中, 结构元素是与图象象素同样大小的圆。

最后, 经过简单的比较法产生插值断层图象:

$$I^{(n)}(x, y, z_n) = \begin{cases} 1 & \text{若 } D_2^{(n)}(x, y, z_2) \neq 0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

距离变换和形变之后, 距离映射图 $D_2^{(n)}(x, y, z_2)$ 包含了 2 个原始断层中目标的综合形状。使第 1 个目标形状逐渐向第 2 个目标形状变化。距离映射

图被用来生成中间插值图象。

6 实验结果

我们分别用模拟图象和 MRI 图象来验证本文的形变插值方法的有效性。第 1 个实验对 2 个不同位置和不同方向的椭圆进行插值运算,得到 8 幅中间插值断层图象(图 2)。左上角和右下角图象为原始图象。其它图象,从左到右,自上而下为各插值图象。可见,从第 1 幅原始图象到第 2 幅原始图象,目标的位置、方向和形状的变化是缓慢而均匀的。

第 1 个实验的原始图象为 MRI 图象。核磁共振扫描机产生的图象数据经分割后得到人体头部的断面形状。利用本文的形状插值方法对这两幅断层图象进行插值运算,得到 8 幅插值结果如图 3 所示。图象的排列规则与图 2 相同。

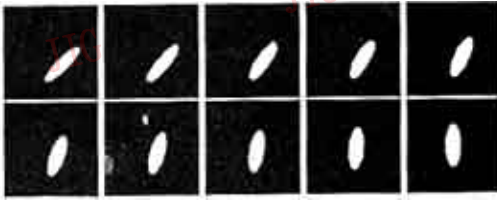


图 2 不同位置和方向两椭圆间形变

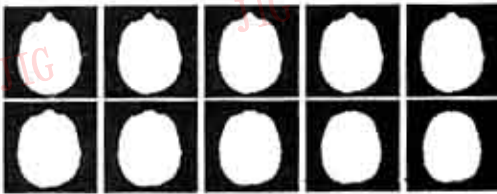


图 3 两幅 MRI 图象的形变

另一个实验是对经插值运算后重建出的三维人体头部数据进行三维表面显示。对三维表面进行三角形化方法处理,然后再进行三角形面片的显示。结果如图 4 所示。

7 结论

本文提出一种新的断层图象层间插值方法。该方法对目标形状同时进行线性的位置和方向插值,非线性形状插值。有向距离变换和形态学变换被引入形状插值。文中有向距离变换与传统的距离变换不同,它同时使用正值和负值距离。距离值的符号用



图 4 重建的人体头部三维表面

以区别目标内部和外部。掩模技术使计算出的距离映射图包含 2 个原始断层的形状,从而为简便的形状变换方法提供强有力的支持。仅对一个原始目标进行距离变换是本文方法的另一个特点,使算法的空间和时间效率得以提高。插值图象可通过迭代求出。目标的形状从一个断层向另一个断层缓慢均匀地变化。结果,由此重建的三维表面更加平滑而真实。

参考文献

- 1 Goshtasby A. Matching of tomographic slices for interpolation. IEEE Trans. Med. Imaging, 1992, 11: 507~516.
- 2 Lin W C, Liang C C, Chen C t. Dynamic elastic interpolation for 3-d medical image reconstruction from cross-sections. IEEE Trans. Med. Imaging, 1988, 7: 225~232.
- 3 Raya S. P, Udupa J. K. Shape-based interpolation of multidimensional objects. IEEE Trans. Med. Imaging, 1990, 9: 32~42.
- 4 Higgins W. E, Morice C, Ritman E L. Shape-based interpolation of treelike structure in three-dimensional images. IEEE Trans. Med. Imaging, 1993, 12: 439~450.
- 5 Leries A, Garfinkle C D, Levoy M. Feature-based volume metamorphosis. Computer Graphics Proceedings. Annual Conference Series, 1995: 449~456.
- 6 Wolberg G. Digital image warping. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, 1990.
- 7 Beier T, Neely S. Feature-based image metamorphosis. Proc. SIG-GRAPH'92, 1992: 35~42.
- 8 Ragnemalm I. The Euclidean distance transform in arbitrary dimensions. Pattern Recognition Letters, 1993, 14: 883~888.



罗斌 安徽大学电子工程与信息科学系副教授,现从事信号与信息处理专业的教学和科研工作。主要研究方向是计算机视觉、医学图象和工业图象处理与分析、计算机图形学和模式识别。在学术刊物上发表论文 28 篇。

Two Dimentional Metamorphosis for Slice Interpolation

Luo Bin

(Department of Electronic Engineering&Information Science, Anhui University, Hefei 230039)

Abstract We present a novel 2D metamorphosis technique, which uses a distance map to link two shapes. There are three steps. Firstly, the position of a shape is calculated. Secondly, the shape is blended with a distance map. Finally an iterative process is used to linearly interpolate the positions and orientations, and non-linearly interpolate the shapes using morphology. The proposed 2D metamorphosis technique is used for slice interpolation with MRI stack images. The result of shape blending and 3D surface displaying is given.

Keywords Slice interpolation, Metamorphosis, Distance transform, Morphology transform, 3D reconstruction

亚太地区第二届 GIS 城市基础设施规划与管理年会暨展览会

5月26日至28日在中国大饭店举行了亚太地区第二届GIS城市基础设施规划与管理年会暨展览会。会议就中国GIS发展前瞻及GIS在市政管理城市规划、电信、土地管理信息系统等一系列的应用领域问题进行了探讨。GIS领域的专家们向与会者介绍了最新的GIS及其应用系统的发展动态和趋势。

我国的GIS(地理信息系统)已逐步成为一门新兴的信息产业,在国民经济中发挥着日益重要的作用。

本届展览会是我国今年举办规模最大的GIS应用技术展览会。西门子SICAD公司、INTERGRAPH公司、富融科技公司、华胜公司均将各自的GIS系统应用展示给广大观众,并详尽介绍了各自系统的应用特点及应用实例。惠普公司与富融科技公司合作将地理系统的分析数据通过HP公司的大幅面打印机清晰打印出来。

德国西门子地理系统产品SICAD从诞生至今已有近20年的历史,其优秀的数据库管理方式和强大的功能为业界肯定,该GIS系列产品提供从小型用户至大型企业用户的完整产品系列,支持Windows95, windows NT和Unix等多种操作平台。目前德国汉诺威—西门子利多富信息系统有限公司已重新调整应用软件业务结构,1998年4月1日成立了总公司拥有100%所有权的子公司“SICAD Geographic information Systems GmbH&Co. OHG”,其是专为地理信息系统部门(GIS)成立的。上海房屋土地管理局和SICAD公司已成功合作开发上海市地籍信息系统、房地权属管理信息系统和土地利用规划信息系统。SICAD公司还为广州的自来水管道路信息系统开发了应用软件。

INTERGRAPH公司则展示了其GeoMedia地理信息系统及AccessNFS解决方案。GeoMedia是利用Intergraph公司最新Jupiter技术而开发的第一个GIS产品。Jupiter是一个开放的标准环境,它可以创建一个纯Windows的应用,而不需传统的CAD内核,不需要在Windows操作系统上再额外

加一层。充分发挥了Windows所提供的图形、对象和集成能力,并增加了特别的功能,这将有助于把GIS应用与其他桌面办公自动化软件有效集成。作为基于RISC的UNIX系统上CAD产品的开发商及MicroSoft32含Windows平台上的开发商,Intergraph了解Windows和UNIX系统间共享数据的需求,AccessNFS解决方案就是用来满足这种需求的。

富融科技公司的ARC/INFO地理信息系统空间分析和数据管理7版使用户比以前更能充分发挥GIS分析与数据管理的作用,它集成了GIS各个方面的功能,使机构中的每个人都可访问ARC/INFO数据和工具。Windows, Macintosh与Unix, OpenVMS用户一样,可以直接通过计算机网络访问ARC/INFO数据。其性能包括:易用的应用工具;更好的数据输入;强大的数据管理;扩充的数据模型;专业的分析功能;完善的地图输出。

HP公司的DesignJet CP系列打印机为GIS、打印服务商、图形专家、CAD图象等提供具有专业水准的照片质量大幅面打印机。HP Design Jet 2500CP提供使用简便而精确的彩色管理系统,包含自动色彩校准,Pantone色彩匹配的以及模仿商业出版的驱动程序。HP DesignJet 200CP对于大多数RIP来说都是一个大画面打印解决方案,它包含由HP开发的工业标准语言HP-GL/2和HP RTL以及与大多数应用程序兼容的AutoCAD和Windows驱动程序。

我国GIS应用目前正处于一个需求旺盛阶段,国内应用市场存在着巨大的潜力。展望21世纪对GIS可以说是机遇和挑战并存,我们要抓住机遇迎接挑战,让GIS在国家建设中发挥极为重要的作用。第二届亚太地区GIS城市基础设施规划与管理年会暨展览会的成功举办,无疑将对我国的国家建设,尤其是城市基础设施规划与管理起到重要的推动作用。

JIG (汪虹)