

基于 Snake 模型和射线法的颅面重建方法

王 菲, 耿国华, 冯 筠

(西北大学信息科学与技术学院计算机系, 西安 710127)

摘 要: MC 颅面重构方法复原的面皮和颅骨三角片数量大且存在杂质。针对该问题, 基于断层轮廓序列, 利用改进的 Snake 模型提取闭合颅骨轮廓线, 通过射线法对该轮廓线进行二次处理得到最外层轮廓线, 从而实现颅面三维重构。实验结果表明, 该方法在颅面数据量较小的情况下, 可以准确表达人的面部和颅骨的形态信息。

关键词: 改进 Snake 模型; 射线法; 三维颅面重构

Craniofacial Reconstruction Method Based on Snake Model and Ray Method

WANG Fei, GENG Guo-hua, FENG Jun

(Department of Computer, Institute of Information Science and Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)

【Abstract】 MC craniofacial reconstruction method recovers the face skin and skull triangles in large quantities and exists impurity. Aiming at this problem, this paper uses improved Snake model to extract closed skull contour lines based on fault contour sequence. Ray method is used to accurately extract outermost layer of the skull contour. Experimental results show that the method can generate method under the condition of small craniofacial data quantity, and it can express the facial and skull form information correctly.

【Key words】 improved Snake model; ray method; three-dimensional craniofacial reconstruction

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.02.072

1 概述

轮廓提取和三维重建是可视化领域很重要的内容, 特别是人体面部与颅骨的三维重构, 不仅能使人面部与颅骨逼真地显示在计算机屏幕上, 而且为颅面复原提供了数据支持。文献[1]提出 Marching Cubes(MC)方法, 但用 MC 方法复原出的面皮和颅骨三角片数量巨大并且存在杂质。文献[2]由断层轮廓序列重构物体三维表面, 通过一系列三角面片覆盖物体表面, 且这些三角片围成的体积最大。文献[3]对文献[2]方法做了一些改进, 相比 MC 方法, 具有数据量小、噪声小、易于处理的特点。

本文基于断层轮廓序列对颅面进行三维重构。由于颅骨的断层轮廓线具有复杂、不连续、形态变化较大的特点, 因此采用 Snake 模型^[4]和射线法^[5]相结合的轮廓线提取方法。对于面皮轮廓线, 由于其轮廓线连续简单, 因此采取 Snake 模型对其进行处理。最后用提取出来的断层轮廓线进行颅面三维重构。

2 基于 Snake 模型的轮廓线提取

2.1 Snake 模型的原理

Kass M 等人于 1987 年提出了 Snake 模型, 也称主动轮廓模型。它是一种半互动算法, 定义了一个与轮廓闭合有关的能量函数。操作者可以手动地在 CT 上画出若干条轮廓线, 这些轮廓线会在内力、外力的作用下不断变形, 形变趋向于使该能量函数值变小, 直至能量函数取最小值, 此时轮廓变形停止。

主动轮廓模型的优点是允许手动选择需要的区域, 去除不必要的区域, 这个特点恰好吻合了颅骨轮廓线的要求, 并且在层与层之间的 CT 图像轮廓线形态很相似, 用主动轮廓

模型可以基于此进行快速准确的批处理。

主动轮廓模型的缺点是对初始轮廓过度依赖、无法提取凹陷轮廓、对参数选择敏感等。文献[6]用改进的遗传算法作为外部约束力, 控制曲线在能量最小化的作用下收敛, 直至提取目标轮廓。本文在贪婪算法^[7]的基础上, 增大曲线控制点的最小能量的搜索范围, 有效避免局部能量最小化, 并在外力中加入图像边缘灰度值的外部控制力, 用外部控制力拉动曲线到目标边缘, 从而降低 Snake 模型对初始轮廓的要求。

2.2 Snake 模型的实现

在 Snake 模型的实现中, 离散化曲线 $V(s)$, 即把 $V(s)$ 沿 s 分割成 N 个点, Snake 函数表示为:

$$E_{\text{Snake}} = \sum_{i=0}^{N-1} [E_{\text{int}}(v_i) + E_{\text{ext}}(v_i)] \quad (1)$$

其中, v_i 为某一控制点, $i=0, 1, \dots, N-1$ 。

内部能量定义为:

$$E_{\text{int}}(v_i) = \frac{1}{2} (\alpha_i |d - |v_i - v_{i-1}||^2 + \beta_i |v_{i-1} + 2v_i + v_{i+1}|^2) \quad (2)$$

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |v_i - v_{i-1}| \quad (3)$$

其中, α 、 β 为控制参数, 分别控制参数曲线的弹性和刚性。一阶和二阶导数项称为弹性能量和刚性能量。弹性能量抑制曲线的收缩和拉伸, 保持各控制点间的连续性; 刚性能量抑

基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目(60736008); 西北大学研究生自主创新基金资助项目(08YZZ33)

作者简介: 王 菲(1984 -), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 三维可视化设计; 耿国华, 教授、博士生导师; 冯 筠, 副教授、博士后

收稿日期: 2010-05-25 **E-mail:** 84006477@qq.com

制曲线的弯曲,使曲线保持平滑。

为控制点间的平均距离,使接近平均距离的控制点具有较小的能量值,并使轮廓线上的控制点在各个方向上的力均匀,对式(2)进行归一化处理,即除以该项邻域中的最大值。

外部能量定义为:

$$E_{\text{ext}}(V_{(i)}) = \gamma_{(i)} E_{\text{image}}(V_{(i)}) + \delta_{(i)} E_{\text{con}}(V_{(i)}) \quad (4)$$

其中, E_{image} 为采用二维高斯滤波器处理后,再使用 Sobel 算子对图像进行梯度计算; E_{con} 是人给出的外部控制力,通过图像边缘灰度值与邻接图像边缘的背景灰度值之差求得灰度势能。这种方法对于带有交互性的 Snake 模型很有效,克服了传统 Snake 对初始轮廓强烈的依赖性并且易于实现。

实验初始化参数:平滑参数 $\alpha=1.80$, 曲率参数, $\beta=1.50$ 外力参数, $\gamma=0.80$ (该参数经 50 套 CT、共 10 000 多张 CT 实验,得到针对提取颅面轮廓线的最优值)。

图 1(a)为手动画出的颅骨初始轮廓线。图 1(b)为按照图 1(a)的初始轮廓线执行 Snake 模型后的结果,设置搜索邻域为 7,未加入边缘灰度势能先验知识。图 1(a)中的初始轮廓与正确轮廓偏离较大,在搜索邻域为 7 的情况下,由于搜索范围比较小,因此 Snake 模型很难使初始化轮廓线收敛到正确轮廓。图 1(c)为按照图 1(a)的初始轮廓线执行 Snake 模型后的结果,计算过程中把先验知识加入到 Snake 模型中,即已知物体轮廓与背景的灰度差为-1 000,加入控制力参数 δ 大小为 0.5,并且将搜索邻域增大 13,以便 Snake 在更大的范围进行搜索,进一步提高搜索正确率。由结果可知,与图 1(b)相比,图 1(c)鼻尖及脑勺后处的轮廓全部收敛到了正确的轮廓线上。由图 1(a)、图 1(b)、图 1(c)可知,适当增加边缘灰度势能和搜索邻域,能提高 Snake 模型的效率。图 1(d)为利用 Snake 模型计算面皮轮廓线后的结果(限于篇幅,选取部分数据罗列)。可见,Snake 模型较好地提取出了颅面轮廓线。

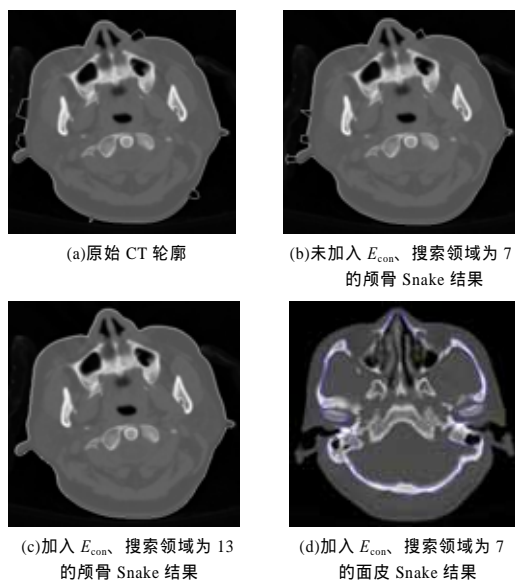


图 1 Snake 模型提取结果

至此,颅骨的轮廓线已提取完成,不过用 Snake 模型提取的颅骨轮廓线都是闭合曲线,分内外 2 层。不能直接重建无厚度的三维颅骨模型。下文将研究如何利用 Snake 模型提取出无噪声的最外一层颅骨轮廓线。

3 射线法

最简便的提取外层轮廓线的方法便是利用射线扫描对待提取图像进行处理。射线扫描即对二值化后的图像或对 Snake

模型处理过后的轮廓线进行逐行逐列扫描,提取最外层的轮廓线。在扫描过程中,分别用自上、下、左、右 4 个方向的射线扫描位于中部的轮廓线。当射线接触到轮廓线时终止该条射线的扫描,保留每条射线在轮廓线上碰到的点。当 4 个方向全部扫描完后得到骨骼最外层的轮廓线。

图 2 是把图 1(c)中的 CT 图像二值化后直接进行射线法的结果,从结果可以看出,如果直接采用射线法对 CT 图像进行处理,噪声比较多,一一处理这些噪声是十分困难的。



图 2 射线法处理结果

4 Snake 模型与射线法的结合

颅骨轮廓线是很复杂的,至今没有一个可以完全准确地提取颅骨最外层轮廓线的好方法。这节先用 Snake 模型手动选择颅骨中需要的轮廓线部分,排除不需要的部分,再用射线法取其外边缘。这里的手动不是逐张处理,只要给定一个参考轮廓,Snake 模型可以根据初始轮廓进行批量轮廓提取。

图 3 为结合 Snake 模型与射线法提取的颅骨轮廓线,即对图 1(c)中的闭合轮廓线实施射线法得到的结果。由图 3 可以看出,对 Snake 模型处理后的轮廓线进行射线法处理,可清除几乎全部噪声,最终得到重建三维颅骨模型需要的轮廓。

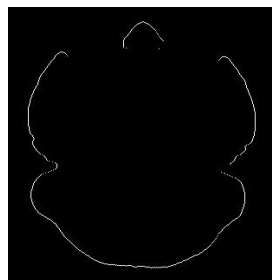
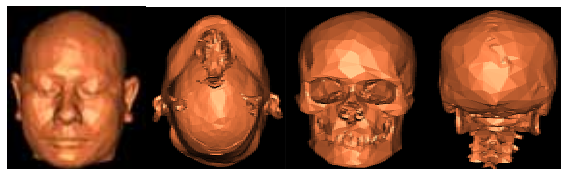


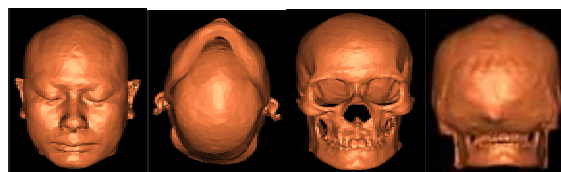
图 3 Snake 模型与射线法结合的处理结果

5 实验结果

基于上述方法,用 Microsoft Visual Studio 2003 设计基于 Snake 模型的颅面 CT 轮廓线提取系统。图 4 给出基于该系统提取的轮廓线重建的颅面模型。该系统共处理了 80 余套 CT,每套 CT 均含约 250 张左右的 CT 图像,为后续进行颅面复原提供了一定的技术支撑。



(a)MC 方法重建的颅面模型



(b)本文方法提取的轮廓线重建的颅面模型

图 4 2 种方法的颅面模型重建比较

图 4 中这 8 个模型的三角面片数均为 12 000。可以看出, 在相同面片数的情况下, 相比 MC 方法依靠阈值重建的颅面模型, 本文方法提取的轮廓线重建的颅面模型具有以下优点: 表面光滑细致, 表达人物精确; 生成的颅骨模型不仅没有厚度, 而且基本没有杂质。这为后续的颅面复原和模型测量提供了良好的数据基础。

6 结束语

由实验结果可知, 本文利用 Snake 模型和射线法结合的方法较适合提取复杂的轮廓线, 因为其对轮廓线的选择比较灵活、适用面比较广。通过基于断层轮廓线法重构的颅骨和面皮模型在数据量较小的情况下比较真实, 完全可以准确反映人的面部特征。

而且由于其提取并不像 MC 方法那样依赖阈值, 因此生成的杂质也较少, 这就减少了杂质处理的时间。由于本文方法存在一些问题, 如 Snake 模型对于尖角轮廓是较难收敛的, 而且仅适用于上下 2 层轮廓线都相差不大的情形, 因此下一步工作将针对以上方面对 Snake 模型进行优化, 从而提取更复杂的轮廓。

参考文献

- [1] Loresen W, Cline H. Marchingcubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm[J]. ACM Computer Graphics, 1987, 31(4): 163-170.
- [2] Kappel E. Approximating Complex Surface by Triangulation of Contour Lines[J]. IBM Journal of Research and Development, 1975, 19(1): 2-11.
- [3] Fuchs H, Kedem Z M, Uselton S P. Optimal Surface Reconstruction from Planar Contours[J]. Communications of the ACM, 1977, 20(10): 693-702.
- [4] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snake: Active Contour Models[J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321-331.
- [5] 宋 亮. CT 数据预处理与三维重建[D]. 西安: 西北大学, 2009.
- [6] 罗三定, 王建军. 一种医学图像的轮廓提取方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 218-220.
- [7] Williams D J, Shab M. A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation[J]. CVGIP: Image Understanding, 1992, 55(1): 14-26.

编辑 陆燕菲

(上接第 204 页)

由表 1 可以看出, NAMK 和 NAMKG 在数据量方面的改进效果均很明显, 其子模式数均远小于 LQT 的节点数, 而且由 N 的值不难算出, NAMKG 的子模式数相比 NAMK 的子模式减少了 16.51%~23.39%, 效果显著。因此, 与 NAMK 相比, NAMKG 能够更有效地减少子模式数量。由 λ 和 ω 可知, LQT 的总数据量是 NAMKG 的 2.122 5 倍~5.419 8 倍。并且 ω 的值总是大于 λ 。另外, 由表 1 易知 $\psi > 1$, 从而证实了第 3 节的理论分析结果。由 λ 和 ω 的值不难算出, 与 NAMK 算法相比, NAMKG 算法在数据量上减少了 15.62%~22.50%, 改进效果也很显著。因此, 在数据存储表示方面, NAMKG 相比 NAMK 能更有效地减小数据存储空间。

5 结束语

格雷码能扩展或保持二值图像的块状性, 利用这一特点, 本文提出了一种改进的 NAMK 彩色图像表示算法。理论分析和实验结果表明, 相比 NAMK 算法和 LQT 算法, NAMKG

能够显著降低子模式数量和存储空间, 是一种更为有效的图像表示算法。

参考文献

- [1] 刘学峰, 王士同. 基于 Sugeno 模糊积分的形态学彩色图像处理[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 227-229.
- [2] Samet H. The Quadtree and Related Hierarchical Data Structures[J]. Computing Surveys, 1984, 16(2): 187-260.
- [3] Gargantini I. An Effective Way to Represent Quadtrees[J]. Communications of the ACM, 1982, 25(12): 905-910.
- [4] 郑运平, 陈传波. 一种基于非对称逆布局模型的彩色图像表示方法[J]. 软件学报, 2007, 18(11): 2932-2941.
- [5] Zheng Yunping, Chen Chuanbo, Huang Wei, et al. A New Non-symmetry and Anti-packing Model with K-lines and Its Application to Color Image Representation[C]//Proceedings of IPCV'07. Las Vegas, USA: [s. n.], 2007: 526-532.

编辑 张 帆

(上接第 206 页)

5 结束语

本文提出一种基于分块的不可分小波多聚焦图像融合方法。从视觉效果看, 本文方法的融合结果图像看不出块的痕迹, 融合效果好。从客观衡量指标看, 结果图像的均方根误差小、熵值和空间频率大。该方法与其他方法相比具有融合效果好、节约运算量的优势。与直接分块而不作小波变换的融合方法相比, 由于小波重构时要进行滤波, 因此消除了块效应。与仅作小波变换而不作分块的方法相比, 由于融合时不需要逐个像素地搜索参与融合的图像, 而是取参加融合的图像的块作为结果图像的相应块, 因此可以节约运算量。

参考文献

- [1] 张素兰, 王 铮. 基于区域锐度的多聚焦图像融合[J]. 计算机工程, 2009, 35(4): 221-222, 225.
- [2] Zhong Zhang, Blum R S. A Categorization of Multiscale-decomposition-based Image Fusion Schemes with a Performance

Study for a Digital Camera Application[J]. Proceedings of IEEE, 1999, 87(8): 1315-1326.

- [3] 李树涛, 王耀南, 张昌凡. 基于视觉特性的多聚焦图像融合[J]. 电子学报, 2001, 29(12): 1699-1701.
- [4] 刘 斌, 彭嘉雄. 基于分块的小波多聚焦图像融合方法[J]. 计算机工程, 2005, 31(5): 41-42, 46.
- [5] 刘 斌, 彭嘉雄. 基于四通道不可分加性小波的多光谱图像融合[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 350-356.
- [6] Liu Bin, Peng Jiaxiong. Image Fusion Method Based on Non-separable Wavelet[J]. Machine Vision and Applications, 2005, 16(3): 189-196.
- [7] Eskicioglu A M, Fisher P S. Image Quality Measure and Their Performance[J]. IEEE Transactions on Communication, 1995, 43(12): 2959-2965.

编辑 陆燕菲