文章编号:1000-5404(2010)18-1929-03

论著

图像纹理扩张在肺部形态还原中的应用

李 颖,谭立文,张绍祥,吴 毅,方彬吉 (400038 重庆,第三军医大学基础医学部人体解剖学教研室,重庆市数字医学研究所)

【摘要】 **目的** 探讨萎缩肺组织形态还原的算法。**方法** 以二维断层图像为基础,结合活体肺组织形态的特点,设定肺部形变的方向和范围,结合极坐标、Bresenham 画线法和插值等方法实现不规则区域特定方向的纹理扩张。**结果** 肺部图像扩张后纹理清晰,克服了传统图像放大算法所产生的模糊、边界锯齿等缺点,反映了经特定运动轨迹后肺内部各个结构位置、大小的变化。**结论** 该方法用图像处理的方法实现了肺部纹理的扩张,并保持了肺内部组织结构的毗邻关系,能够有效应用于肺由萎缩态向正常状态的还原。

【关键词】 肺;解剖学,横断面;图像处理,计算机辅助;形态还原;纹理扩张
【中图法分类号】 R319;R322.35 【文献标志码】 A

Application of image texture amplification in lung morphology restoration

Li Ying, Tan Liwen, Zhang Shaoxiang, Wu Yi, Fang Binji (Department of Anatomy, Chongqing Institute of Computing Medicine, College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, Chongqing, 400038, China)

【**Abstract**】 Objective To explore the algorithm of the shrunk lung image restoration. Methods Based on 2-D section image, combining with the morphological characteristics of the living lung tissue, the direction of lung deformation and the boundary line that deformation reaches was assumed, and vein filling of specific direction in irregular areas was achieved through polar coordinates, Bresenham drawing method and interpolation method, *etc*. Results After the lung dilation, the image was clear, overcoming many shortcomings of the traditional image amplification, such as obscure and zigzag boundary, and the image reflected the location and size changes of various structures within the lung under specific movement trial. Conclusion The method, with image processing, achieves lung marking amplification, and maintains the adjacent relationship among the interior organization structures, which can effectively restore the lung from shrinkage condition to normal condition.

【**Key words**】 lung; anatomy, cross-sectional; image processing, computer-assisted; morphology restoration; texture amplification

Supported by the National Natural Science Foundation of China (60771025, 60871099), Corresponding author: Zhang Shaoxiang, E-mail: zhangcvh@yahoo.com.cn

标本断层解剖图像是学习和研究活体形态学的基础。肺标本因受灌注固定[1]、弹性萎缩、冰冻等多种因素的影响,通常使尸体肺部组织断层图像产生不同程度的萎缩形变,影响人们对其正常形态和功能的理解。在临床上,对肺和内部组织以及相关疾病的研究已不仅仅停留在定性的研究上,而是将形态学的变化用定量表示,最终在计算机的辅助下能实现智能诊断[2]。将萎缩的肺部组织图像还原到正常形态下,不仅便于人们理解,而且可对肺的萎缩程度进行定量分析。本研究在数字化人体数据的基础上,提取胸部和肺组织的断层数据,结合活体肺组织形态的特点,探讨肺部组织的形态还原的算法,同时为模拟呼吸运动中肺部组织的变化规律及临床诊断、精确定位治疗方面提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 肺部图像来源

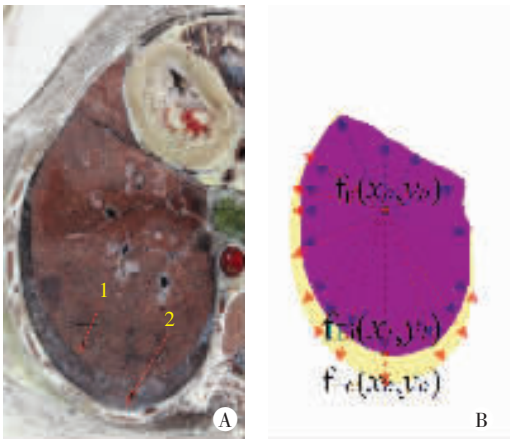
本研究选用首例中国女数字可视化人体数据集[3],该数据

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目(60771025, 60871099)
【通信作者】 张绍祥, E-mail: zhangcvh@yahoo.com.cn

标本为 22 岁女性，身高 162 cm，体质量 54 kg，图像分辨率为 3 872 像素 ×2 048 像素。

1.2　肺部还原形态分析

根据先验知识可知，在呼吸运动过程中肺随胸廓的运动而运动[4]。肺部的呼吸运动在形态上表现为由内向外，由中心向四周扩张，而肺内部的结构如支气管、肺泡、血管等与肺部的运动轨迹、相对位置关系比较一致，即随着呼吸运动肺的扩张，气管树也随之扩展，肺收缩的时候内部的结构向纵隔方向靠拢。从断层图像上看，左肺下叶的边界应靠近向胸廓左侧边界，见图 1A，运动轨迹近似于图 1B 所示，其中红色表示原始的左肺下叶边界区域，假设正常情况下的肺左肺下叶边界区域用黄色表示。



A：CVH2-2215 左肺下叶图像　1：左肺下叶边界　2：胸廓左侧边界　B：形态扩张轨迹　$f_p(x_p,y_p)$：内边界的重心点；$f_{Ei}(x_i,y_i)$：原始图像中肺部萎缩后的边界上的点即内边界点；$f_{Eo}(x_o,y_o)$：正常情况下肺部应有的边界上的像素点即外边界点

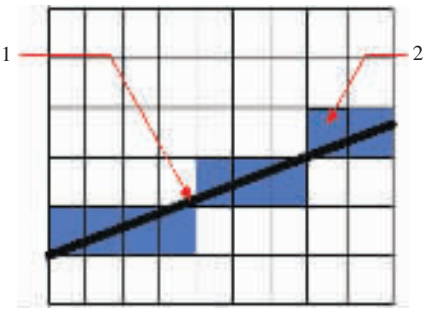
图 1　断层图像左肺下叶形态扩张示意图

1.3　算法思想

把图像看成是由无数条从重心发出的射线和外边界相交构成的区域，在同一方向上将重心到内边界直线上的纹理映射到外边界上，即通过已知像素来获取未知像素的值。具体的算法步骤如下：①确定肺部图像的边缘和重心：$f_{Ei}(x_i,y_i)$ 表示原始图像中肺部萎缩后的边界上的点即内边界点，$f_{Eo}(x_o,y_o)$ 表示正常情况下肺部应有的边界上的像素点即外边界点，$f_p(x_p,y_p)$ 代表示内边界的重心点（图 1）。②边界点用极坐标表示：$f_{Ei}(\rho_i,\theta_i)$ 和 $f_{Eo}(\rho_o,\theta_o)$ 分别表示内、外边界上任意一点。③用 Bresenham 画线法分别描出内外极半径上的点。④当 $\theta_o=\theta_i$ 时，计算极半径的缩放比例因子 s（$s=\rho_o/\rho_i$）。⑤从重心以极角 θ_o 到外边界直线上的点，通过公式 $\rho_o=\rho_i\times s$ 计算颜色值。⑥重复步骤 2～4 直至遍历所有从重心到外边界点的直线。

1.4　Bresenham 画线法

在计算机图形学中，一幅图像可以用栅格来表示，每个小方格代表 1 个像素。直线并非数学意义上的直线，而是对直线的近似表达，即光栅化的直线（图 2）。常用的画线法有：DDA、Bresenham 等，经实验，本研究最终采用 Bresenham[5] 画线法来表示中心到边界的直线。其原理是：过各行列像素中心构造一组虚拟的网格线，按直线从起点到终点的顺序，采用增量计算直线与各垂直网格线的交点，然后根据误差项的符号确定该列像素中与交点最近的像素。

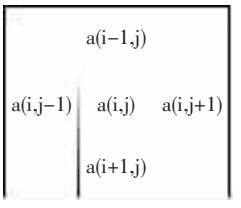


1：原直线　2：扫描转换一条直线显示的像素

图 2　直线光栅化示意图

1.5　四邻线性插值

将短半径上的颜色值映射到长半径上，可以通过数学上的重复插值的方式来实现。但由于直线的光栅化表示，外边界上极角为 θ_o 的点并不一定在内边界上找到与之相等的 θ_i 来一一对应，因此需要对直线进行插值。常用的插值算法有最近邻插值法、4 邻插值法、8 邻插值法等[6]，可根据插值效果、时间开销等综合因素来选择恰当的插值算法。本研究所采用的是 4 邻插值法（图 3），假设当前像素是 a(ij)，将 4 邻的像素值都用当前像素值来取代。因此，对算法步骤 4 做出改进，先 4 邻插值，再对插值后的所有像素求 $|\theta_o-\theta_i|_{min}$ 最小时、内外半径的缩放因子。

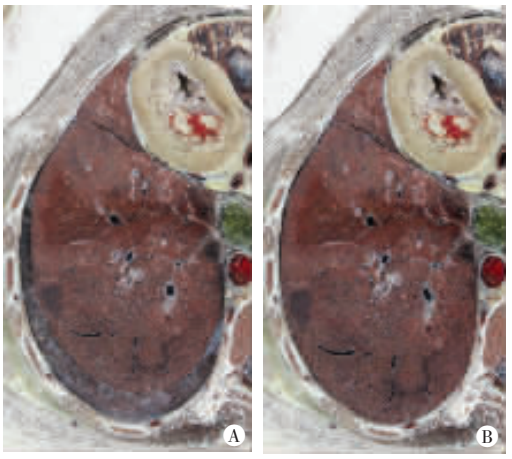


a(i−1,j)、a(i+1,j)、a(i,j−1)、a(i,j+1)：分别代表在 a(i,j) 上、下、左、右方向插入的像素

图 3　图像四邻插值示意图

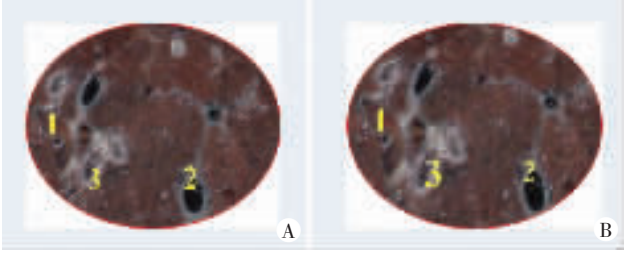
2　结果

从原始图像（图 4A）中可以看出，肺部出现了萎缩的情况，根据先验知识，在呼吸运动中肺随胸廓运动而运动，因此，可以假设正常情况下肺的外边界对肺部形态进行扩张，图 4B 展示了经算法处理后左肺下叶的图像，可以看出图像的纹理按照设定的运动轨迹均匀的填充到了外边界上，而肺内部的结构与原始图像保持一致。在模拟运动轨迹的作用下可以看到部分气管的形态已有相应的变化，从图 5A 中可以看出原始图像右下方的血管接近于圆，而扩充后（图 5B），血管轮廓层舒张状态更接近于椭圆状，形态虽发生变化，但周围的组织形态依然非常清晰，且保持良好的毗邻关系。



A:原始图像 B:纹理扩张后图像

图 4 左肺下叶扩张前后对比图像



1:动脉 2:静脉 3:支气管
A:原始图像内部结构 B:扩充后图像内部结构

图 5 左肺下叶扩张前后局部对比图像

3 讨论

肺部的形态是不规则的,也没有对称性,不规则图像纹理扩张是图像处理中的难点。常规的图像纹理放大算法通常采用等比例插值方式且插值后容易出现局部模糊的现象,因此对不规则的肺部图像的扩张并不适用。本算法主要有以下几个显著优点:①具有方向自适应性。在两边界差异小的方向上,进行较少的插值,反之,则进行更多的插值;在插值的备选像素值选择与当前像素方向上最接近的像素来表示。②保护边界像素。传统图像放大算法容易出现边界模糊、块状锯齿效应等[7],本算法采用逆向思维的方法从边界向重心搜索像素值,有效保护了边界像素值。③图像局部信息清晰完整。由于传统图像放大方法算法常采用的插值备选值为相邻像素取均值,容易造成局部细节的模糊,本算法根据图像的方向性特点,采用与当前像素位置极角最邻近的像素值作为插值的备选值,在体现运动规律的同时获得了清晰的局部信息。同时该方法也可以应用于特定运动方向下图像纹理的放大,也可以运用于制定不规则形状封闭外边界的纹理填充。

肺组织是一个含气的组织器官,肺组织标本由于受气胸、标本固定、冰冻过程中水分的挤压,使得肺组织易产生形变,影响肺内解剖结构的形态和空间毗邻关系,不利于肺部解剖的学习、研究和知识理解。根据活体特征的先验知识对标本图像进行形态还原,不仅有效地利用标本图像所表达的信息,使其更符合活体特征,为肺部器官结构的形态学研究提供真实、可靠的形态学数据,增强了其使用价值。

随着图像引导放射疗法技术[8]的出现,使体外放疗能够更加准确的将放射剂量输送到病灶目标位置。如何应对呼吸运动中正常器官运动对病灶目标吸收剂量的影响是放射肿瘤学中亟待解决的问题,利用呼吸运动规律或将规律进行量化有着极其重要的研究价值。有研究[9]将体素模型转化为 NURBS 曲面模型进行形变再转化为器官轮廓的方法建立动态模型来评估放疗计划中器官呼吸运动的影响。一方面,模型转换之间会产生一定的误差,另一方面,控制点间的形变后体素配准是需要解决的问题[10]。直接对体素进行形变是最直观的方式,也能最大程度的保持器官内部结构的毗邻关系。本研究通过模拟呼吸运动时肺部向胸廓扩张的运动轨迹对肺部图像进行扩张,获得形变后肺组织内部各个结构形态变化的图像,还可以推广到将不同的局部范围赋予不同的运动轨迹。并可以通过将临床不同时段肺部呼吸的形变图像和模拟运动轨迹产生的形变图像相比较,从图像上来分析肺组织内部结构在位移、方向、体积上的变化,为定量分析和推导其运动轨迹打下基础,为研究肺呼吸运动轨迹规律方面提出了新的思路,并做出了有益的探索。

参考文献:

[1] 李英杰. “活动肺”标本的制作方法[J]. 生物学通报, 1959, 4: 186 – 187.
[2] Avila R S. Method and system for measuring lung tissue damage and disease risk: US, 20100063410 [P]. 2010 – 03 – 11.
[3] 张绍祥, 刘正津, 谭立文, 等. 首例中国女性数字化可视人体数据集采集与可视化研究[J]. 第三军医大学学报, 2003, 25(5): 394 – 396.
[4] 张镜如, 乔见天. 生理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1978: 163 – 165.
[5] Bresenham J E. Algorithm for computer control of a digital plotter[J]. IBM Systems J, 1965, 4(1): 25 – 30.
[6] 许为华, 尹学松. 医学图像插值算法的研究[J]. 计算机仿真, 2006, 23(1): 111 – 114.
[7] 付树军, 阮秋琦, 王文洽. 一种基于双曲正切函数的自适应图像放大算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(3): 12 – 13, 48.
[8] Xing L, Thorndyke B, Schreibmann E, *et al*. Overview of image-guided radiation therapy[J]. Med Dosim, 2006, 31(2): 91 – 112.
[9] 张居营, 徐榭, 石成玉. 四维动态数字人体模型的开发及其在放疗计划中评估器官呼吸运动影响的研究[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(9): 1301 – 1305.
[10] Wu Z, Rietzel E, Boldea V, *et al*. Evaluation of deformable registration of patient lung 4DCT with subanatomical region segmentations [J]. Med Phys, 2008, 35(2): 775 – 781.

(收稿 2010-04-10 修回 2010-06-10)
(编辑 栾 嘉)