

文章编号 1006-8147(2014)01-0032-04

论 著

改进的随机游走算法在困难肺结节分割中的应用

庞学明¹, 郭 军¹, 王笑一², 郭 丽¹

(1.天津医科大学医学影像学院, 天津 300203; 2.重庆医科大学医学影像系, 重庆 400016)

摘要 目的: 为了提高计算机辅助诊断对肺结节良、恶性判断的精度, 提出一种新的基于随机游走的肺结节分割方法。方法: 首先, 采用自适应中值滤波对图像进行平滑处理, 消除困难肺结节内部灰度分布不均匀而导致的误分割; 然后, 将拉普拉斯零交叉点引入到随机游走算法权函数定义中, 并根据图像中节点与种子点的距离来对图像进行边缘增强, 消除弱边缘的干扰, 获得外部特征清晰的肺结节分割结果。结果: 与传统图像分割方法相比, 该方法实现了三种困难肺结节的精确分割, 对肺结节定量、定性分析提供更加准确的客观依据。结论: 改进的随机游走图像分割可以有效地对困难肺结节进行精确分割。

关键词 计算机辅助诊断; 随机游走; 自适应中值滤波; 边缘增强; 图像分割; 肺结节

中图分类号 TP391.4

文献标志码 A

Application of improved random walker algorithm in segmentation of pulmonary nodules

PANG Xue-ming¹, GUO Jun¹, WANG Xiao-yi², GUO Li¹

(1.School of Medical Imaging, Tianjin Medical University, Tianjin 300203, China; 2.Department of Medical Imaging, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

Abstract Objective: To enhance the performance of computer aided diagnosis of the benign and malignant pulmonary nodules by an improved random walk based on pulmonary nodules segmentation method. **Methods:** Firstly, adaptive median filter algorithm was used to smooth the images and to solve the problem that the objective contour was easily influenced by the discontinuous distribution of intensity in Ground-Glass Opacity pulmonary nodules. Secondly, according to the distance between the node and the seed in the graph, Laplacian zero crossing was introduced into the weight function in random walker algorithm (RW) to enhance image edge. The interference of the weak edge could be eliminated, and a better segmentation result of pulmonary nodules could be obtained. **Results:** Compared with the traditional image segmentation methods, the proposed algorithm could achieve accurate segmentation of pulmonary nodules and provide more accurate and objective basis for the quantitative and qualitative analysis of pulmonary nodules. **Conclusion:** The improved random walker algorithm provides an effective method for accurate segmentation of the pulmonary nodules.

Key words computer aided diagnosis; random walker; adaptive median filter; edge enhancement; image segmentation; pulmonary nodule

我国肺癌已成为发病率最高的恶性肿瘤, 早期发现与确诊, 对提高肺癌患者存活率有重要意义。早期肺癌常表现为较小的孤立性肺结节(solitary pulmonary nodule, SPN)。在对 SPN 良恶性鉴别过程中, 结节的容积定量和倍增时间预测是非常重要的诊断依据。因此, 如何能准确对结节进行分割, 进而行相位参数显示至关重要。虽现已有相应软件进行分割, 但对于磨玻璃样密度及与血管或胸壁相连的结节等无法精确分割。本文采用图像平滑预处理后, 利用自行改进的随机游走算法, 将肺结节进行分割。

基金项目 国家自然科学基金资助项目(81000639); 中国博士后科学基金资助项目(20100470791, 201104307); 天津医科大学校级基金资助项目(2009ky08)

作者简介 庞学明(1986-), 男, 助理实验师, 学士, 研究方向: 医学影像技术; 通信作者: 郭丽, E-mail: gl6290@126.com。

1 资料与方法

1.1 资料 实验数据由两部分构成: 第1组由天津医科大学总医院放射科提供6个病例, 数据采用16排或者64排薄层螺旋CT扫描, 扫描参数层厚10 mm或者5 mm, 扫描间隔10 mm或者5 mm, 120 KV, 280 mA, 机架旋转一周时间0.35~0.8 s, DFOV 36.0 cm, 螺距1.375:1, 扫描矩阵512*512、重建层厚1.25 mm, 间距1.25 mm, 基本实现图像体素各相同性以确保容积分割的准确性。第2组病历来自美国国家癌症研究会颁布的肺部图像数据库联盟(Lung Image Database Consortium, LIDC)。本文从数据库中提取53个病例全肺CT的扫描图像, 该数据提供了4名放射学专家对每张CT片中出现的结节的定义, 并给出了肺结节的直径、容积等相关数据。本研究选用磨玻璃样结节32例、毛刺征结节23例、与血管或胸壁相连的肺结节18例。利用改进的随机游走图像分割

算法实现了上述 3 种困难肺结节的精确分割,分割的图像经两名胸部影像学专家阅片意见一致纳入图像分析。

1.2 方法

1.2.1 图像滤波 在肺结节图像中存在着目标区域灰度分布离散和存在弱边缘干扰的现象,影响了肺结节图像分割结果的质量。在预处理阶段,采用自适应中值滤波方法^[1-2]对图像进行平滑处理,保证目标区域灰度分布连续性的同时减少弱边缘的干扰而出现的误分割。

设滤波器窗口大小为 S , $S_{\min}=3$ 和 $S_{\max}=7$ 分别为滤波器窗口的最小值和最大值; z_{\min} 表示窗口 S 中灰度级最小值, z_{\max} 表示窗口 S 中灰度级最大值, z_{med} 表示窗口 S 中灰度级的中值, z_{xy} 表示窗口中心点处的灰度级。自适应中值滤波方法的主要步骤如下:

Step1 判断是否满足条件 $z_{\min} < z_{\text{med}} < z_{\max}$, 如果条件成立, 转到 Step2。否则 $S=S+2$, 如果 $S > S_{\max}$, 输出 z_{med} , 否则继续执行 Step1。

Step2 判断是否满足条件 $z_{\min} < z_{xy} < z_{\max}$, 如果条件成立, 输出 z_{xy} , 否则输出 z_{med} 。

自适应滤波算法具有实现简单、运行效率高的优点。算法在平滑图像的基础上保留了图像细节部分, 获得较好的图像平滑结果。

1.2.2 改进随机游走算法 随机游走算法是 2006 年^[3-4]提出来的。该方法把一个输入图像看作一个加权图, 每个节点代表一个像素。通过比较随机游走者从每个节点第一次游动到小数量的用户给定的标记节点的概率, 以最大概率为准则分割节点类别, 实现图像分割。传统随机游走算法在对图像进行分割时容易受到弱边界的干扰而出现误分割, 无法获得精准的目标轮廓。在肺结节图像中, 由于图像中目标边界不明显, 使得传统随机游走算法无法精确分割肺结节, 影响肺结节的三维重建和容积定量分析的准确性。

本文将拉普拉斯零交叉点概念引入到随机游走算法权函数的定义中, 根据图中节点到各个种子点的距离来进行边缘增强, 使得与标记点距离越近的边增强幅度越大。拉普拉斯零交叉点定义如下式所示:

$$f(i) = \begin{cases} 1; & \text{如果 } l(i) = 0 \\ 0; & \text{如果 } l(i) \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: l 为多尺度 Laplacian 核函数与原始图像的卷积结果。本文应用 5×5 和 9×9 两种不同大小的 Laplacian 核函数与图像进行卷积, 采用加权求和的形式来计算拉普拉斯零交叉点。

图像中任意一点与各个种子点的空间距离定义如下式所示:

$$d_{ij} = \| P_i - P_j \| \quad (2)$$

式中: P_i 和 P_j 分别为图中节点 v_i 与种子点 v_j 的空间坐标。图像中任意相邻两点 v_k 与 v_l 之间的边 e_{kl} 与种子点 v_j 的空间距离相似性定义如下式所示:

$$S_{e_{kl}v_j} = \exp \left(-\alpha \cdot \frac{\min(d_{ik}, d_{jl})}{\max_{r=1}^N d_{jr}} \right) \quad (3)$$

式中: d_{ik} 与 d_{jl} 分别为节点 v_k 和 v_l 与种子点 v_j 的空间距离, $\max_{r=1}^N d_{jr}$ 为图中节点与种子点 v_j 的最大空间距离, α 为自由度参数。

改进随机游走算法中权函数定义如下式所示:

$$w'_{kl} = \exp(-\beta'(\alpha_1 \cdot \| I_k - I_l \| + \alpha_2 \cdot (\max_{j=1}^n S_{e_{kl}v_j}) \cdot \max(f(k), f(l)))^2) \quad (4)$$

式中: α_1, α_2 为权重系数, $\beta' > 0$ 为自由度参数。对随机游走算法中权函数的改进起到了增强强边缘作用的同时也减弱了弱边缘的干扰, 使得对应的图结构更加精确地反应图像的结构信息, 提高分割结果的精度。

2 结果

为验证本文算法的可行性, 分别对磨玻璃状肺结节图像、具有毛刺征肺结节图像、与胸壁和血管相连肺结节图像进行仿真实验。图中绿色标记点为前景标记点, 蓝色标记点为背景标记点。将本文算法(IRW)分割结果与懒人算法(LS)^[6]和传统随机游走算法(RW)的分割结果进行比较, 比较三种算法的分割精度。

2.1 磨玻璃状肺结节图像仿真实验 对磨玻璃状肺结节图像的仿真结果如图 1 所示。图 1a 为左肺磨玻璃状孤立结节影。图 1b 为应用 LS 算法对图像仿真结果, LS 算法仿真结果容易受到灰度相似区域的干扰而无法获得连续的目标区域。图 1c 为应用 RW 算法对图像仿真结果, 由于目标区域内灰度分布离散性而增加了对其精确分割的难度, 无法获得精准的肺结节目标轮廓。图 1d 为应用 IRW 算法对图像仿真结果, 由于算法采用了自适应中值滤波对图像进行了平滑处理, 保证了目标区域的灰度连续性, 获得比较精确的图像分割结果。

2.2 毛刺征肺结节图像仿真实验 对具有毛刺征肺结节图像仿真结果如图 2 所示。肺结节外部毛刺征是判断肺结节良、恶性的的重要依据, 精确的分割带有外部毛刺的肺结节具有重要的现实意义。LS 算法对图像分割结果如图 2b 所示, 受到特征相似区域的干扰, 目标轮廓外延到目标外部, 并且由于肺

结节边界模糊,算法无法精确分割出与结节相连的外部毛刺。RW 算法对图像分割结果如图 2c 所示,由于传统随机游走算法容易受到弱边界的干扰而出现误分割,使得肺结节目标轮廓线无法外延到肺结节外部毛刺区域,无法获得理想的具有清晰外部毛刺特征的肺结节。图 2d 为应用 IRW 算法对图像仿真结果,由于算法在权函数定义中引入了拉普拉斯零交叉点概念,起到了增强强边缘和减弱弱边缘的干扰的作用,使得分割结果中目标具有清晰的外部特征。

2.3 与血管或胸壁相连肺结节图像仿真实验 对与血管或胸壁相连接的肺结节图像仿真结果如图 3 所示。很多恶性肺结节与血管或胸膜壁相连接,精

确的分割肺结节使其相连接的血管和胸膜壁分离,成为分割肺结节的重要方向。LS 算法对图像分割结果如图 3b 所示,由于血管和胸膜壁的灰度差与肺结节十分相似。LS 算法分割的肺结节不能够把血管和胸膜壁去掉,使得肺结节的体积精确度降低。RW 算法对图像分割结果如图 3c 所示,由于传统随机游走算法弱边界处理效果欠佳,如图 3c 所示的箭头处,右侧箭头显示肺结节有一部分体积被删除,而在该肺结节的下面箭头处将部分血管面积添加到肺结节体积中,无法获得理想的肺结节轮廓。图 3d 为应用 IRW 算法对图像仿真结果,可见肺结节完整的轮廓提取,获得了精确的肺结节边界,并进行肺结节的容积定量研究。

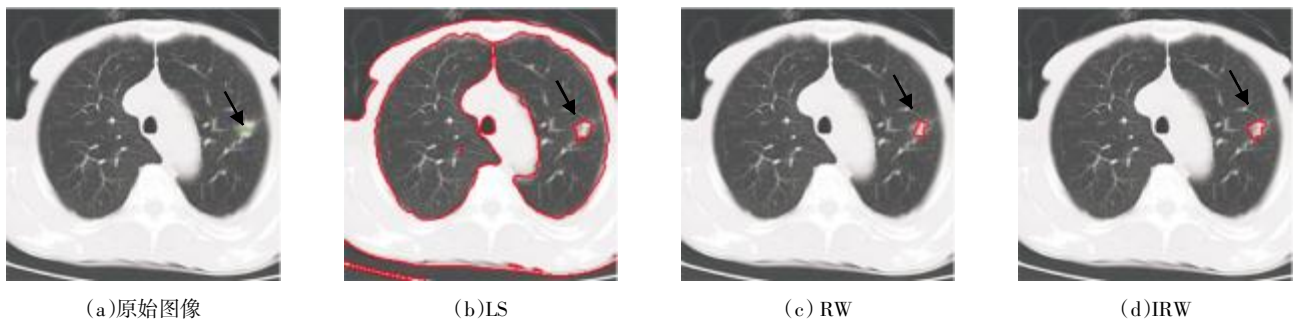


图 1 磨玻璃状肺结节图像分割结果

Fig 1 The result of segmentation of Ground-Glass Opacity SPN image

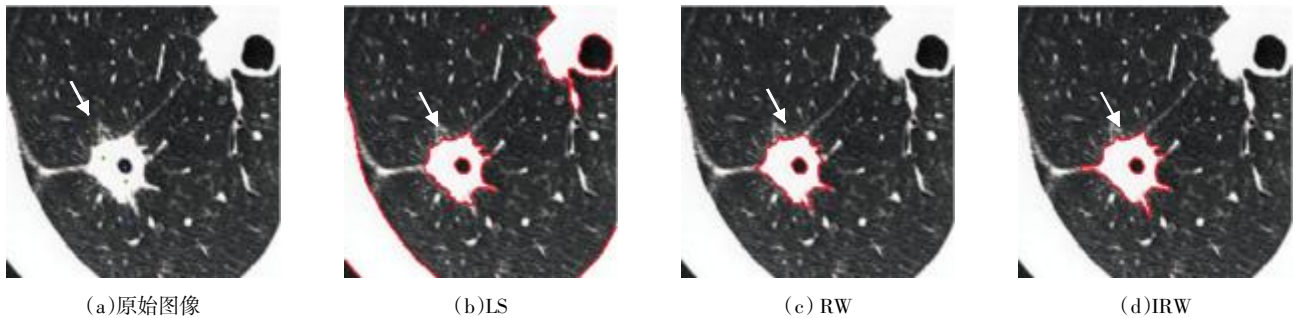


图 2 孤立肺结节图像分割结果

Fig 2 The results of image segmentation of glitch SPN image

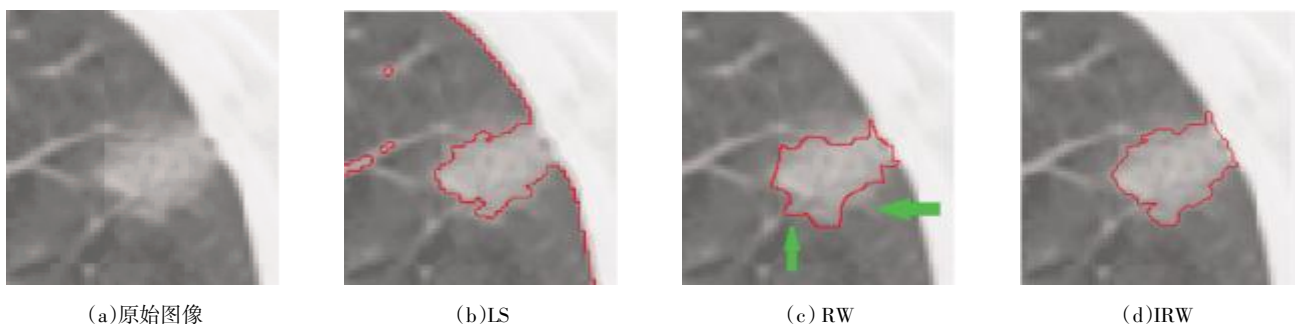


图 3 孤立肺结节图像分割结果

Fig 3 The results of image segmentation of glitch SPN image

3 讨论

3.1 现有分割算法 目前有很多学者对肺结节进行分割研究,比如阈值分割方法、区域生长的方法、基于聚类的方法和活动轮廓模型等经典算法已经完成了对孤立性非困难结节的研究^[6-8]。但是对于与血管相连的、与胸膜壁相连的、与支气管相连接的结节,相连接部分与肺结节的密度十分接近,分割时往往将胸膜壁或者血管(气管)分割到结节容积中,医生无法精确获得结节的容积数据。基于密度分割方法-局部密度最大算法,已经成功地应用到肺节点分割问题上,但仍不能解决上述问题^[9]。Kubota^[10]提出了通过肺实质分离,确定结节中心,利用区域增长的方法对肺结节进行分割。Messay^[11]建立一个计算机辅助诊断的数据库通过分割肺实质然后对肺结节进行阈值和形态学处理来检测肺结节,并对其进行分类。Wu^[12]利用分层统计的方法来识别候选结节是否连接血管、胸膜壁等相似结构,并对候选结节进行分割。很多学者对磨玻璃状结节进行分割研究,Zhou^[13]采用概率密度函数建模和细分磨玻璃状结节和其他肺实质结节。Zheng^[14]提出一种交互式的半自动分割算法,对肺结节定量研究。

3.2 困难结节分割的难度 由于CT肺结节图像中具有边缘模糊、密度不均匀、个体差异大、伪影和噪声等特点,自动分割肺结节图像不能满足临床医生对后续处理所需数据的要求,针对3种分割困难的结节,现有的算法要达到灵敏度和精确度上的较高要求具有很大的难度。在现阶段的计算机辅助诊断系统中,对孤立性肺结节的容积提取已经取得了较好的效果,但是在对与血管相连接、与胸膜壁相连接等类型的结节,由于肺结节的CT值与血管和胸膜壁极其相似,在传统的分割方法中,分割结果往往将胸膜壁和血管的部分算在肺结节的容积中,导致对肺结节分割的不精确。

3.3 图像平滑预处理在分割中的作用 自适应滤波算法设计尺度简单,考虑了多尺度的自动设定方式,使其滤波过程具有实现简单、运行效率高的优点。算法在平滑图像的基础上保留了图像细节部分,获得较好的图像平滑结果。在实验后续的图像分割起到了改进图像前期质量,提高分割结果的作用。

3.4 改进随机游走分割的作用 本文提出一种改进随机游走的肺结节分割方法。较之传统图像分割方法,本法应用自适应中值滤波方法对图像进行预处理来保证目标区域的灰度连续性,同时应用改进

随机游走算法对肺结节进行分割,在随机游走算法权函数定义中引入拉普拉斯零交叉点来更加准确的刻画图像的结构信息,使得到的分割结果能够精确地反应出图像的外部特征。结果表明,本文算法实现了肺结节的精确分割,对于肺结节的容积计算和外部特征分析的准确性具有重要意义。

参考文献:

- [1] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing [M]. 3rd edition. New Jersey: Prentice Hall, 2008:551-588
- [2] Ibrahim H, Kong NSP, Ng T F. Simple adaptive median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. Consumer Electronics, IEEE Trans, 2008, 54(4): 1920
- [3] Grady L, Schiwietz T, Aharon S, et al. Random walks for interactive organ segmentation in two and three dimensions: Implementation and validation[J]. Med Image Comput Comput Assist Interv, 2005, 8(Pt2):773
- [4] Grady L. Random walks for image segmentation[J]. IEEE Trans, Pattern Anal Mach Intell, 2006, 28(11): 1768
- [5] Li Y, Sun J, Tang C K, et al. Lazy snapping[J]. ACM Trans Graph (ToG), 2004, 23(3): 303
- [6] Mullally W, Betke M, Wang J, et al. Segmentation of nodules on chest computed tomography for growth assessment[J]. Med Phys, 2004,31(4):839
- [7] Dehmeshki J, Amin H, Valdivieso M, et al. Segmentation of pulmonary nodules in thoracic CT scans: A region growing approach[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2008, 27(4):467
- [8] Way T W, Hadjiiski L M, Sahiner B, et al. Computer-aided diagnosis of pulmonary nodules on CT scans: segmentation and classification using 3D active contours[J]. Med Phys, 2006, 33(7): 2323
- [9] Fischbach F, Knollmann F, Griesshaber V, et al. Detection of pulmonary nodules by multislice computed tomography: improved detection rate with reduced slice thickness [J]. Eur Radiol, 2003, 13(10): 2378
- [10] Kubota T, Jerebko A K, Dewan M, et al. Segmentation of pulmonary nodules of various densities with morphological approaches and convexity models[J]. Med Image Anal, 2011, 15(1): 133
- [11] Messay T, Hardie R C, Rogers S K. A new computationally efficient CAD system for pulmonary nodule detection in CT imagery[J]. Med Image Anal, 2010, 14(3): 390
- [12] Wu D, Lu L, Bi J, et al. Stratified learning of local anatomical context for lung nodules in CT images[J]. Comput Vis Pattern Recognit (CVPR), IEEE Conf, 2010: 2791
- [13] Zhou J, Chang S, Metaxas D N, et al. An automatic method for ground glass opacity nodule detection and segmentation from CT studies[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2006,1: 3062
- [14] Zheng Y, Kambhamettu C, Bauer T, et al. Estimation of ground-glass opacity measurement in CT lung images[J]. Med Image Comput Assist Interv, 2008,11(Pt2):238

(2013-06-24 收稿)