

基于模糊增强的医学图像分割分水岭算法研究

张利红, 梁英波, 吴定允

(周口师范学院物理与电子工程系, 河南 周口 466001)

摘要:医学图像存在病变区域和背景区域,病变区域是分割的重点。针对传统分水岭算法对噪声敏感和易于产生过分割的问题,提出了一种将多尺度形态学边缘检测、模糊增强和控制标记符分水岭相结合的分割策略。该方法首先结合大结构元素和小结构元素各自的优点,用多尺度形态学边缘检测减弱过分割;其次用模糊增强算法使原始医学图像中粗细的边缘都能够得到增强;最后采用基于前景和背景标记的分水岭分割算法进行分割。仿真实验表明,该算法不仅可以有效的克服分水岭变换严重的过分割问题,得到有意义的区域分割,而且还具有较强的区域轮廓定位能力,不需要再进行后续的合并处理,算法简单,同时具有多尺度的特点,能够适应医学图像分类与信息提取的需求。

关键词:分水岭算法;模糊增强;多尺度;图像分割

中图分类号:TN 957.52 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.11.23

Watershed algorithm research of medical image segmentation based on fuzzy enhancement

ZHANG Li-hong, LIANG Ying-bo, WU Ding-yun

(Department of Physics and Engineering, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)

Abstract:The medical images have pathological change region and background. The pathological change region that is so-called the region of interest (ROI) is the emphasis of image segmentation. Aiming at the problems of sensitivity to noise and over-segmentation existing in traditional watershed algorithm, an image segmentation strategy on the combination of multi-scale morphology gradient and fuzzy enhancement and marker controlled watershed is proposed. Firstly, combined with respective advantage of the big structural elements and small structure elements, over-segmentation is weakened by multi-scale morphology edge detection; Secondly, the edge of original medical image is enhanced by using the fuzzy enhancement algorithm; Finally, the image is segmented with a marker-based watershed algorithm. Simulation experiments show that the algorithm can effectively overcome the serious watershed transformation over-segmentation problem and get significant regional segmentation, and it has strong regional outline positioning ability and don't need to carry on the following merger processing, and segmentation algorithm is simple, and has the characteristics of multiple scales, and it can adapt to the demand of the medical image classification and information extraction.

Key words:watershed algorithm; fuzzy enhancement; multi-scale; image segmentation

1 引言

医学分割的准确性对医生判断疾病的真实情况并作出正确的诊断计划至关重要^[1]。医学图像分割效果的好坏直接决定后期的医学图像分析和图像理解的正确与否。分水岭分割是一种基于数学形态学的图像分割方法,具有计算速度快、精确定位图像

基金项目:河南省教育厅项目:医学图像边缘检测与分割的研究(No. 13B510275);河南省教育厅项目:医学图像分割与三维重建的研究(No. 12A510029);周口师范学院青年教师基金项目:医学图像多模融合方法的研究(No. 2012QNB06)资助。

作者简介:张利红(1982-),硕士,讲师,主要从事信号与信息处理和图像处理方面的教学与研究。曾在国内外学术刊物及会议上发表论文二十余篇。E-mail:dabang662@163.com

收稿日期:2013-03-26;**修订日期:**2013-04-25

边缘的特性,因而受到极大的关注,但它通常存在严重的过分割问题,如何克服过分割问题一直是研究的重点和热点^[2]。传统的分水岭算法是对图像的梯度图像进行分割,图像在获取、传输和接收的过程中易添加噪声,而梯度算子易受噪声或量化误差的影响,产生很多局部极小值,导致过度分割现象。为了解决这些问题,提出将数学形态学中的多尺度形态滤波和模糊集的图像增强相结合,对原始图像进行综合预处理,然后用基于标记的分水岭对处理后的图像进行分割,不仅防止了过分割现象,而且具有明显的抗噪声能力。

2 图像预处理

2.1 多尺度的形态滤波

医学图像中噪声分布和噪声大小都是随机的^[3]。常见的边缘检测算子在检测到有效边缘的时候会放大噪声,导致分水岭分割时严重的过分割^[4]。形态边缘检测器不会加强和放大噪声,但单尺度形态学梯度算子的性能取决于结构元素的大小,不合适的结构元素得不到理想的检测结果。本文提出的多尺度的边缘检测,目的是不但发挥大的结构元素检测到的边缘比较稳定且对噪声不敏感的优势,而且发挥小的结构元素检测到的边缘信息比较丰富且边缘定位精度较高的优势。在用分水岭算法对图像进行分割之前先用多尺度边缘检测算子进行初步的检测。

形态学梯度的定义是以形态学的膨胀和腐蚀为定义的,形态学的膨胀和腐蚀的定义如下^[5-6]:假设 $f(x,y)$ 为原始图像, $g(x,y)$ 为结构元素, d 表示平移量,则 $f(x,y)$ 被 $g(x,y)$ 的膨胀的定义为:

$$f(x,y) \oplus g(x,y) = \{d \mid [(\hat{g}(x,y))_d \cap f(x,y)] \neq \Phi\} \quad (1)$$

$f(x,y)$ 被 $g(x,y)$ 的腐蚀的定义为:

$$f(x,y) \ominus g(x,y) = \{d \mid (g(x,y))_d \subseteq f(x,y)\} \quad (2)$$

其中, \oplus 为膨胀算子; \ominus 为腐蚀算子,单尺度形态学梯度定义为:

$$\text{Grad}[f(x,y)] = (f(x,y) \oplus g(x,y)) - (f(x,y) \ominus g(x,y)) \quad (3)$$

文献[4]提出了多尺度形态学梯度算子,多尺度形态学梯度定义为:

$$G_n(f(x,y)) = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n [(f(x,y) \oplus g_i(x,y)) - (f(x,y) \ominus g_i(x,y)) \ominus g_{i-1}(x,y)] \quad (4)$$

由于多尺度的形态梯度算子使用了取平均运

算,抗噪声的能力也更强,对于噪声较大的医学图像能取得较好的效果^[7]。

2.2 基于模糊集的图像增强

图像增强技术^[8]的目的是有选择地突出图像中感兴趣的特征或者抑制(掩盖)图像中某些不需要的特征,一个有效的图像增强算法要求能够高效的克服图像中噪声和边缘模糊不清的干扰,准确地提取图像边缘^[9]。在多尺度边缘检测的同时利用模糊集来对图像进行增强^[10],目的是为了对原始医学图像中粗细的边缘都能够得到同时的增强。

基于模糊集的图像增强主要包括以下三个步骤:

(1) 图像的模糊特征提取。通过以下变换将图像从空间域变换到模糊域:

$$\mu_{mn} = G(g_{mn}) = \left[1 + \frac{g_{\max} - g_{mn}}{F_d} \right]^{-F_e} \quad (5)$$

其中, F_e 和 F_d 为变换系数; g_{\max} 为图像中最大的灰度值; g_{mn} 为当前像素的灰度值。

(2) 隶属度函数修正

运用模糊增强算子(INT)的回归调用来修正隶属度:

$$T(\mu_{mn}) = \begin{cases} 2 \cdot [\mu_{mn}]^2 & 0 \leq \mu_{mn} \leq 0.5 \\ 1 - 2 \cdot [1 - \mu_{mn}]^2 & 0.5 \leq \mu_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

(3) 模糊域的反变换

将数据从模糊域变换到图像的空间域:

$$g'_{mn} = G^{-1}(\mu'_{mn}) = g_{mn} - F_d \left[(\mu'_{mn})^{\frac{-1}{F_e}} - 1 \right] \quad (7)$$

3 控制标记符的分水岭分割

在对医学图像进行模糊增强以后,许多目标的边缘都得到了很好的增强,同时也增加了许多极值和噪声,如果直接使用控制梯度的分水岭对图像进行分割,结果是感兴趣的目标被分割成许多无意义的细小区域,这是过分割现象,其导致的问题可能会非常严重,以至于产生不可要的结果^[11]。本文的解决方案是采用标记的方法与分水岭算法相结合。标记符是用一个处在每一个感兴趣对象内部的内部标记符集合和包含在背景中的外部标记符集合。文中使用函数 imregionalmin 计算图像中大量局部最小区域的位置,该函数把输入的医学灰度图像转换成二值图像,得到的二值图像的前景像素标记了局部最小区域的位置,文中使用了函数 imextendedmin 计算图像中得“低点”集合,即比周围更深的点的集合来获得内部标记符集合;在确定外部标记符的时候,采

用的方法是借助已找到的像素信息计算未知像素信息,并对其标记,标记的集合即为背景。利用获取的外部标记和内部标记图像作为梯度图像的局部最小值,屏蔽掉原先的所有局部最小值,完成对梯度图像的修正,以便更好的抑制过分割。

4 本文分割算法及结果分析



图1 改进算法的分割过程

改进算法分割过程如图1所示,具体描述如下:

(1) 首先对原始图像按照2.1节多尺度的形态学的边缘检测进行预处理;

(2) 对原始图像做2.2节提到的模糊增强预处理,同时利用极大值扩展变换得到目标区域的内部标记;

(3) 对预处理后的图像实施控制标记符的分水岭变换;

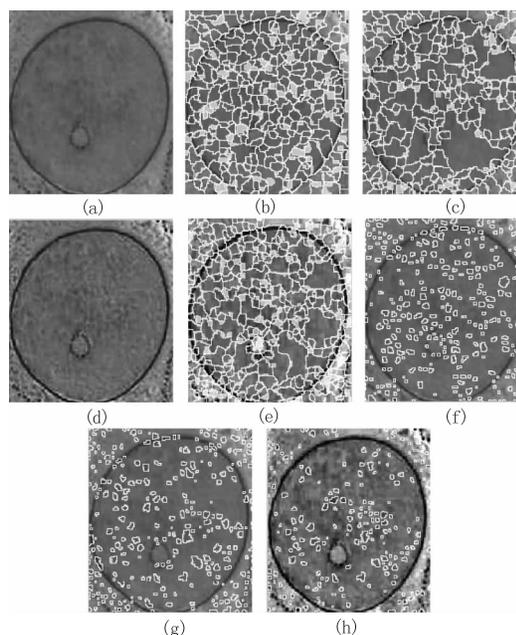
(4) 将分割的图像转换为原来的尺度。

本算法在CPU为2.93GHz、内存为4G的计算机上,通过MATLAB语言编程完成。对医学图像肺癌细胞(cancer)进行分割处理。图2为上述三种方法对医学图像肺癌细胞(cancer)的分割后得到的结果图。其中图(a)为cancer原图;图(b)是经过基于梯度的分水岭分割后得到的结果图;图(c)是经过多尺度边缘检测后再使用基于梯度的分水岭分割后得到的结果图;图(d) cancer原图模糊增强后的结果图;图(e)为cancer原图经过模糊增强后再使用基于梯度分水岭分割后得到的结果图;图(f)为使用文献[11]方法分割的结果图;图(g)为使用文献[12]方法分割的结果图;图(h)为使用本文算法的到结果图。由图2可以看出:

(1) cancer图像经过基于梯度的分水岭分割后得到的结果图和经过多尺度边缘检测后再使用基于梯度的分水岭分割后得到的结果图都没有正确的分割,但cancer图像经过多尺度边缘检测后再使用基于梯度的分水岭分割后得到的结果图比cancer图像基于梯度的分水岭分割后得到的结果图分割的效果要好些,主要表现在:过分割现象有了一定的改进,说明文中提出多尺度边缘检测改进分割的效果好;

(2) cancer图像经过控制标记符分水岭变换得到的结果图没有正确的分割,因为图中有大量的线条,这是过分割现象;但比cancer图像经过基于梯度的分水岭分割后得到的结果图过分割现象要明显

的改进;



(a) cancer原图;(b)经过基于梯度的分水岭分割后得到的结果图;(c)经过多尺度边缘检测后再使用基于梯度的分水岭分割后得到的结果图;(d) cancer原图模糊增强后的结果图;(e) cancer原图经过模糊增强后再使用基于梯度分水岭分割后得到的结果图;(f)使用文献[11]方法分割的结果图;(g)使用文献[12]方法分割的结果图;(h)使用本文算法的到结果图

图2 上述三种方法对医学图像肺癌细胞(cancer)的分割后得到的结果图

(3) cancer图像经过文献[11]方法和文献[12]方法分割得到的结果比cancer图像经过多尺度边缘检测后再使用基于梯度的分水岭分割后得到的结果图和经过模糊增强后的结果图效果要好很多,主要表现在过分割上和边缘的定位上,但是本文算法分割得到的结果图又比文献[11]方法和文献[12]方法分割的结果图效果好,我们可以清楚地看到cancer图像只经过多尺度形态学边缘检测后再用控制标记符的分水岭分割得到的结果图中的癌细胞周围还有线条存在,但是本文算法分割得到的结果图中的癌细胞却被恰如其分的分割出来。因为癌细胞的错误分割能诱导医生误诊所以,本研究提出的cancer图像经过多尺度边缘检测和模糊增强后再进行控制标记符的分水岭分割得到的结果图比较理想的。

分割的效果还可按分割的区域数目来度量^[11],基于分水岭算法的形态学分割会产生过分割现象,分割的效果主要取决于过分割现象抑制的好坏。cancer图像按不同方法分割图像的区域数目如表1所示,由表1可以看出本文的算法过分割现象抑制的最好,为临床医学的诊断提供了重要依据。

表1 cancer 图像按不同方法分割图像的区域数目

分割方法	分割区域数目
基于梯度的分水岭分割	1098
经过多尺度形态滤波预处理后的 基于梯度的分水岭分割	409
文献[11]方法分割	313
文献[12]方法分割	299
本文算法分割	235

5 结论

提出了将数学形态学中的多尺度形态滤波和模糊集的图像增强的改进分水岭的图像分割算法,从最终的分割结果可以看出,分割结果具有较为完整的轮廓和精确连续的边缘,所得的病变组织的区域闭合性较好,无需分割后进行复杂的合并处理就可以获得有意义的分割,有效地解决了传统算法中存在的对噪声和细密纹理过度敏感、过分割等问题,避免了分割后处理。实验结果也表明该算法的有效性。而且针对医学图像的特殊性,分割效果比较好,尤其是分割带有病变组织的图像,效果更佳,在医学图像处理中有一定的应用价值。但是从本文算法的仿真结果看,分割的图像仍有一定的过分割,下一步工作是在算法中进一步减弱过分割,得到更加理想的分割效果。

参考文献:

- [1] Wang Guoquan, Zhou Xiaohong, Wei Lilei. Image segmentation based on watershed algorithm[J]. Computer Simulation, 2009, 26(5): 255 - 259. (in Chinese)
王国权, 周小红, 蔚立磊. 基于分水岭算法的图像分割方法研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(5): 255 - 259.
- [2] Li Mingguang, Deng Kazhong, Zhao Yingdi. Segmentation of remote sensing imagery based on improved watershed algorithm[J]. Remote sensing Information, 2009: 3 - 6. (in Chinese)
栗敏光, 邓喀中, 赵银娣. 基于改进分水岭变换的遥感图像分割方法[J]. 遥感信息, 2009: 3 - 6.
- [3] Sun Xinde, Bao Shukui, Li Lingling. Study of infrared image clutter suppression based on background estimation[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(5): 586 - 590. (in Chinese)
孙新德, 薄树奎, 李玲玲. 基于背景估计的红外图像杂波抑制方法研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(5): 586 - 590.
- [4] Zhang Lihong, Liang Yingbo, Zhi Lianhe et al. The edge-detection of medical image based on multi-scale morphological gradient[J]. Laser Magazine, 2012, 33(3): 104 - 105. (in Chinese)
张利红, 梁英波, 支联合等. 基于多结构多尺度形态学梯度的医学图像边缘检测[J]. 激光杂志, 2012, 33(3): 104 - 105.
- [5] Wang Yingying, Zhang Yongshun, He Ping. Research on IR target-detecting method based on morphology and entropy[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 513 - 517. (in Chinese)
王莹莹, 张永顺, 何苹. 基于形态学和信息熵的红外目标检测算法[J]. 激光与红外, 2012, 42(5): 513 - 517.
- [6] Zhou Yunchuan, He Yongqiang, Li Jitian. Infrared image enhancement method based on wavelet transformation and grayscale morphology[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(6): 683 - 686. (in Chinese)
周云川, 何永强, 李计添. 基于小波和灰度形态学的红外图像增强方法[J]. 激光与红外, 2011, 41(6): 683 - 686.
- [7] Huang Zhanpeng, Yi Faling, Zhou Sujuan, et al. Medical CT image segmentation based on mathematical morphology and region merging[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(11): 4360 - 4364. (in Chinese)
黄展鹏, 易法令, 周苏娟, 等. 基于数学形态学和区域合并的医学 CT 图像分割. [J] 计算机应用研究, 2010, 27(11): 4360 - 4364.
- [8] Zhou Xiaochuan. Modern digital image processing technology improve and application case explanation[M]. Beijing: Beihang University Press, 2012. (in Chinese)
赵晓川. 现代数字图像处理技术提高及应用案例详解[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.
- [9] Yang Yongbo, Jiang Bojun. Research about image enhancement using the integration of Gabor wavelet coefficients[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(10): 1121 - 1124. (in Chinese)
杨泳波, 姜柏军. 利用 Gabor 小波系数融合进行图像增强的研究[J]. 激光与红外, 2010, 40(10): 1121 - 1124.
- [10] GONZALEZ. Digital image processing[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2006. (in Chinese)
冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 阮秋奇, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [11] Hou Alin, Zhang Lihong, Xukun, et al. An modified watershed algorithm for medical images segmentation[J]. Ideo Engineering, 2007, 31(11): 87 - 89. (in Chinese)
侯阿临, 张利红, 徐坤, 等. 一种适合医学图像分割的改进分水岭算法[J]. 电视技术, 2007, 31(11): 87 - 89.
- [12] Wu Dingyun, Zhang Lihong. Application of improved watershed algorithm in image of medical image segmentation[J]. Ideo Engineering, 2011, 35(5): 105 - 108. (in Chinese)
吴定允, 张利红. 改进分水岭算法在医学图像分割中的应用[J]. 电视技术, 2011, 35(5): 105 - 108.