

引用格式:Chen Yuling, Tian Youliang. Improved Medical Image Segmentation Algorithm based on Level Set [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(3): 527-533. [陈玉玲, 田有亮. 基于水平集的医学图像分割改进算法[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(3): 527-533.]  
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2015.3.0527

# 基于水平集的医学图像分割改进算法

陈玉玲<sup>1</sup>, 田有亮<sup>2</sup>

(1. 贵州广播电视大学, 贵州 贵阳 550023; 2. 贵州大学理学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:**医学影像分割是图像分割中的难点,具有重要的应用价值。针对医学影像的特点和图像分割算法的性能差异,提出了一种水平集医学图像分割改进算法。首先通过曲线演化仿真,得出水平集算法核心—速度函数;其次选定速度函数实现对图像的粗略分割,将灰度值较大的区域设置成灰度值较小的值,通过仿真演化准确找到图像中目标区域;最后利用选定的速度函数通过初始算法,经过一定次数的迭代操作后实现了医学影像的准确分割。实验结果表明:该算法可以精确地找到肿瘤所在区域,具有较好的分割性能和一定的鲁棒性。

**关键词:**图像分割;曲线演化;活动轮廓;水平集

**中图分类号:**TP 391 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2015)03-0527-07

## 1 引言

医学图像分割<sup>[1]</sup>在临床诊断、病理分析、手术计划和影像信息处理等实践领域中有着广泛的研究和应用价值。Kass等<sup>[2]</sup>最早提出了一种参数活动轮廓线的Snake模型,后来Osher和Sethian提出基于水平集的几何活动轮廓线<sup>[3]</sup>,更易于推广到高维情况,且允许曲线有尖端和拐角,能用数值解作精确逼近。Chart和Vese<sup>[4]</sup>用活动轮廓线将图像分割问题与Mumford, Shah函数的优化问题相联系,得到原始的CV模型。为得到更好的分割效果,原始的CV分割经过多次改进<sup>[5-7]</sup>,其中速度函数的关键性也得到体现<sup>[6]</sup>。基于贝叶斯分类和Hermite微分算子的水平集图像分割方法<sup>[8]</sup>虽然解决了边界泄漏问题,但若噪声大会严重影响分割效果。基于多阈值单水平集的医学图像分割方法<sup>[9]</sup>能较好地应用于微创手术的预处理中,缺点是只能适用于二维图像。后来有研究者将水平集方法和快速步进法相结合<sup>[10]</sup>,应用于头骨和肝脏CT图像的分割,但对于对比度低或者边缘比较模糊的图像分割不准确。基

于ITK的医学图像分割算法<sup>[11]</sup>虽然可以把复杂的图像模型化实现分割,但对于图像的选取有一定要求。针对时间效率低等问题,付增良等<sup>[12]</sup>将预分割直接作为窄带变分水平集模型的初始轮廓,实现了快速的分割,但分割结果偏差太大。邻域信息被引入到基于Bayes决策准则的水平集分割框架中<sup>[13]</sup>,增强了灰度不均匀条件下弱目标边界的识别能力,但是全局随机搜索使得算法的时间价值太大。由于医学图像的复杂性、多样性、成像原理和组织本身的特性差异,迄今为止仍然没有很好的医学影像分割方案。本文通过演化验证速度函数为水平集分割后,设计了一种水平集分割改进算法。通过对样本图像的测试验证了算法的有效性,实现了对有具体目标背景的脑部影像分割。针对欠分割的情况,经过粗略分割改变灰度值后再进行分割,最终准确找到肿瘤区域的轮廓,有效改进了分割性能。

## 2 水平集分割算法的基本原理

图像分割方法可分为基于阈值检测边界和基于

收稿日期:2014-11-14;修订日期:2015-03-11

基金项目:国家自然科学基金项目(61363068),贵州省自然科学基金项目(20132112)资助。

作者简介:陈玉玲(1983—),女,山东潍坊人,讲师,主要从事应用数学、图形图像处理和信息安全方面的研究。E-mail:61997525@qq.com。

通讯作者:田有亮(1981—),男,贵州盘县人,副教授,硕士生导师,主要从事应用数学和信息安全方面的研究。E-mail:44458658@qq.com。

区域的分割。水平集函数因为有较强的数学背景作为理论支撑,易于扩展到高维情况,所以在处理图像时能够方便而有效地完成分割。下面介绍水平集算法的数学模型及算法原理。

2.1 速度函数的数学模型及演化流程

根据水平集的演化方程和水平集函数的关系,演化方程推导的基本公式为:

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = F \cdot N \\ \varphi(C(t), t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

针对式(1)中第二个方程,等式两边分别对  $t$  求偏导数得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(C(t), t)}{\partial t} &= \frac{\partial \varphi(x(t), y(t), t)}{\partial t} \\ &= \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} \\ &= \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot i + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \cdot j \right) \cdot \left( \frac{\partial x}{\partial t} \cdot i + \frac{\partial y}{\partial t} \cdot j \right) \\ &= \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \nabla \varphi \cdot \frac{\partial c}{\partial t} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

如果按照水平集函数的负梯度方向演化,则有:

$$N = -\frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|} \quad (3)$$

通过计算得到式(4)即为水平集函数的演化方程:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = F \cdot |\nabla \varphi| \quad (4)$$

其中: $F$  为速度函数,由具体应用确定。

2.2 水平集算法原理和流程

水平集算法核心是把求解  $n$  维描述的演化过程转化为求解关于有  $n$  维变量的水平集函数  $f$  的演化过程。其算法主要分为初始化部分、循环部分和后处理部分 3 个模块,图 1 给出了水平集分割算法的模型。初始化部分主要是找出零水平线和窄带,循环部分是计算更新量,并重新计算零水平线和窄带,后处理部分是对分割后的图像进行处理。

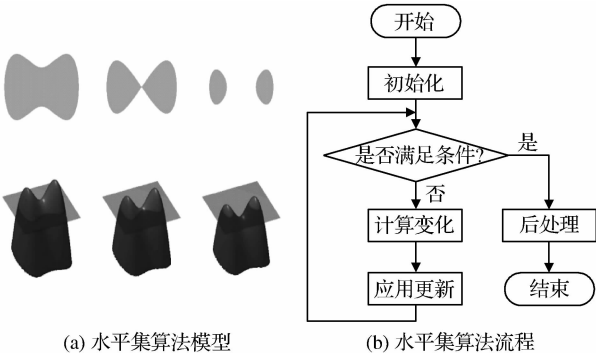


图 1 水平集分割算法的模型和流程图

Fig. 1 Level set segmentation algorithm model and flow chart

3 基于水平集的改进算法

本文在充分研究传统水平集分割算法基础上,提出用水平集图像分割改进算法,改进图像分割算法的关键是确定速度函数。

3.1 3 种速度函数演化曲线的效果

使用 Baris Sumengen 的 Level Set Methods Matlab Toolbox,分别在基于向量场、法线方向和曲率方向的速度函数演化一个正方形曲线。

演化效果如图 2 所示,其中灰色为初始轮廓,黑色为经过 25 次迭代后的轮廓。

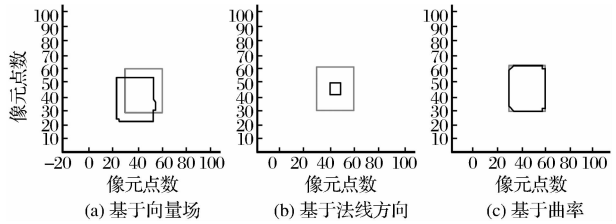


图 2 不同速度函数演化曲线的效果

Fig. 2 The effect of different velocity function evolution curve

从图 2 曲线的演化效果可以看出,速度函数对曲线的演化起着主导作用,用水平集算法实现活动轮廓演化时,根据具体的问题和应用确定速度函数的形式将是实现水平集分割的关键步骤。

3.2 速度函数的计算与水平集函数的更新

假设  $\varphi(t)$  是水平集函数,  $I(x)$  是图像矩阵。2.1 节的演化验证了基于速度函数分割的有效性。下面计算速度函数和更新水平集函数。

3.2.1 速度函数的计算

根据图像和待分割区域特点利用一个特定的速度函数:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = f_v(I(x)) \cdot |\nabla \varphi| \quad (5)$$

$$f_v(I(x)) = \text{sign} \left[ I(x) - \frac{I_{(\varphi \geq 0)} + I_{(\varphi < 0)}}{2} \right] \quad (6)$$

设计速度函数的主要依据是待分割目标与背景区域的平均灰度明显的差异,计算公式为:

$$\begin{aligned} f_v &= I - C \\ C &= \frac{I_{(\varphi \geq 0)} + I_{(\varphi < 0)}}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

3.2.2 计算更新量  $|\nabla \varphi|$

水平集函数  $\varphi$  初始化为二值图像,图像大小和待分割图像的大小一致,即在初始轮廓外面  $\varphi$  值为 1,而在初始轮廓内部  $\varphi$  值为 -1,初始轮廓是函数值为 1 的区域与函数值为 -1 的区域的交界线。则

当用差分法计算水平集函数  $\varphi$  的梯度时,水平和垂直方向的梯度都是只有在初始轮廓的附近才会有非零值(图 3(c))。当用速度函数结合梯度去更新水

平集函数时,只有初始轮廓附近的值会被更新,而其他地方由于梯度值为 0,速度函数将不起作用,如图 3(a)所示。

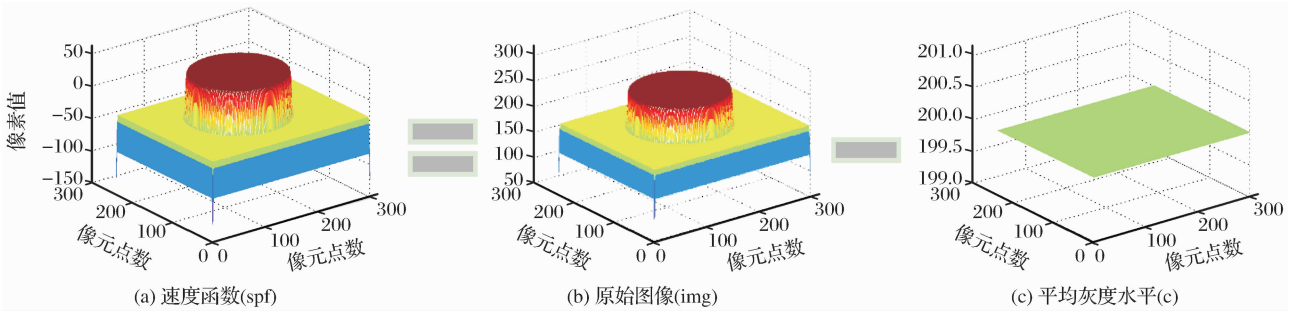


图 3 计算速度函数 spf 的基本思想

Fig. 3 The basic idea of the speed of calculation function of spf

为了实现对水平集函数中的 1 和 -1 的更新,速度函数被归一化后乘以一个较大的系数,这样就可保

证速度函数中的符号信息是有用的。图 4 给出了用速度函数 spf 和梯度  $|\nabla\varphi|$  计算更新量的示意图。

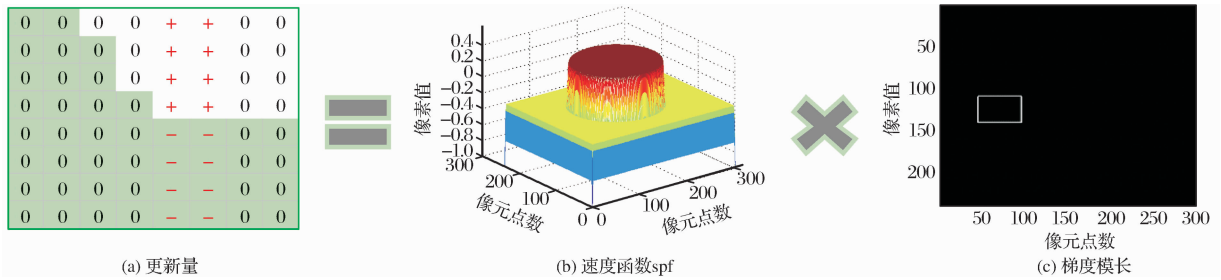


图 4 用速度函数 spf 和梯度模长  $|\nabla\varphi|$  计算更新量

Fig. 4 The calculation amount of updating with the speed of the function spf and the gradient length of  $|\nabla\varphi|$

将已经带有目标区域和背景区域信息的更新量叠加到上一步的水平集函数中,在更新区域对应目标区域的  $\varphi$  值若为正值则仍保持为正,若为负值则被更新为正;而在背景区域的  $\varphi$  值若为正则被更新为负,若为负则仍然保持为负。这样  $\varphi$  更新后,曲线轮廓就得到演化,向着包围目标的方

向,控制迭代次数可实现目标区域和背景区域中的所有  $\varphi$  值都被演化为 1 和 -1(图 4(a)白色和绿色区域),此时  $\varphi$  的零水平集就是目标区域的轮廓曲线,当曲线找到轮廓时便稳定下来,不会继续前进,图 5 给出了用更新量更新水平集函数  $\varphi$  像素值的变化情况。

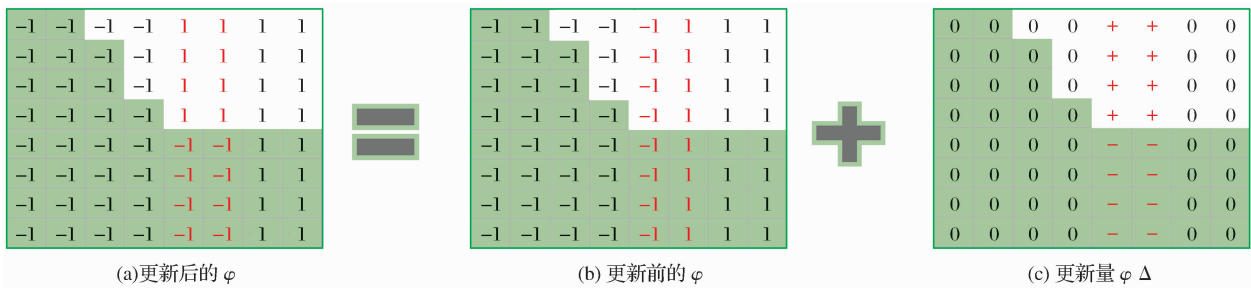


图 5 用更新量更新  $\varphi$  时像素值的变化情况

Fig. 5 Changes the amount of update when updating the  $\varphi$  pixel values

4 基于水平集分割改进算法的实现

本文通过演化验证速度函数的有效性后,计算

出一个水平集的速度函数,并更新了水平集函数,下面以这个速度函数和更新的水平集函数为基础提出一种基于水平集的图像分割改进算法。

4.1 基于水平集图像分割改进算法

测试的图像数据是一幅 RGB 图像,首先转换成灰度图,然后用高斯模板对灰度图进行平滑滤波以滤除图像中的突变像素。使用水平集分割算法演化曲线,避免更新后的轮廓呈现锯齿状。每次迭代后同样用高斯模板对更新后的函数进行滤波,使得曲线变得平滑。这里的水平集函数也初始化为由 -1 和 1 组成的二值图像,而且水平集函数被演化后,目标区域会被更新为 1,背景区域会被更新为-1,图 6 给出了算法的程序框架、代码细节及初始化的水平集函数  $\varphi$ 。

为解决算法因图像其他区域灰度影响而产生的欠分割,对算法进行了改进。首先进行粗略分割,将外面灰度值较大的区域设置成灰度值较小的值,目的是符合算法中目标为灰度值较大的区域,背景为

灰度值较小的区域的假设。然后应用初始的算法操作,经过迭代后分割效果得到了改善,降低了算法的自适应性。

4.2 改进算法的仿真实验及医学影像分割

4.2.1 动态仿真

用这个速度函数对背景简单含有明显目标的图

像进行分割,而且初始轮廓和目标物体的关系分别为初始轮廓与目标分离、目标包含初始轮廓、初始轮廓包含目标、初始轮廓与目标相交,经过一定次数的演化后曲线均能正确找到目标物体的轮廓,动态仿真如图 7 所示。通过对仿真结果进行分析,该算法分割没有目标嵌套的图像时具有较好的鲁棒性。

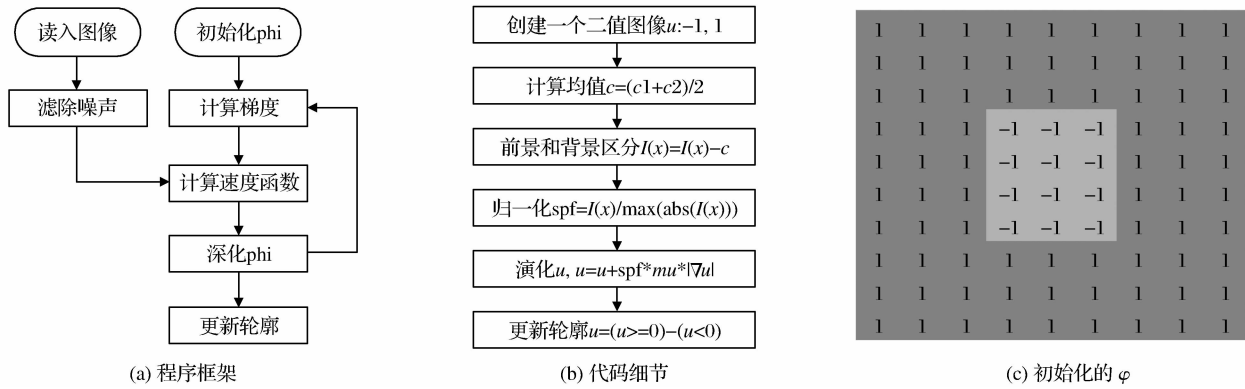


图 6 程序框架、代码细节和初始化的  $\varphi$

Fig. 6 The program framework、details of code and initialized  $\varphi$

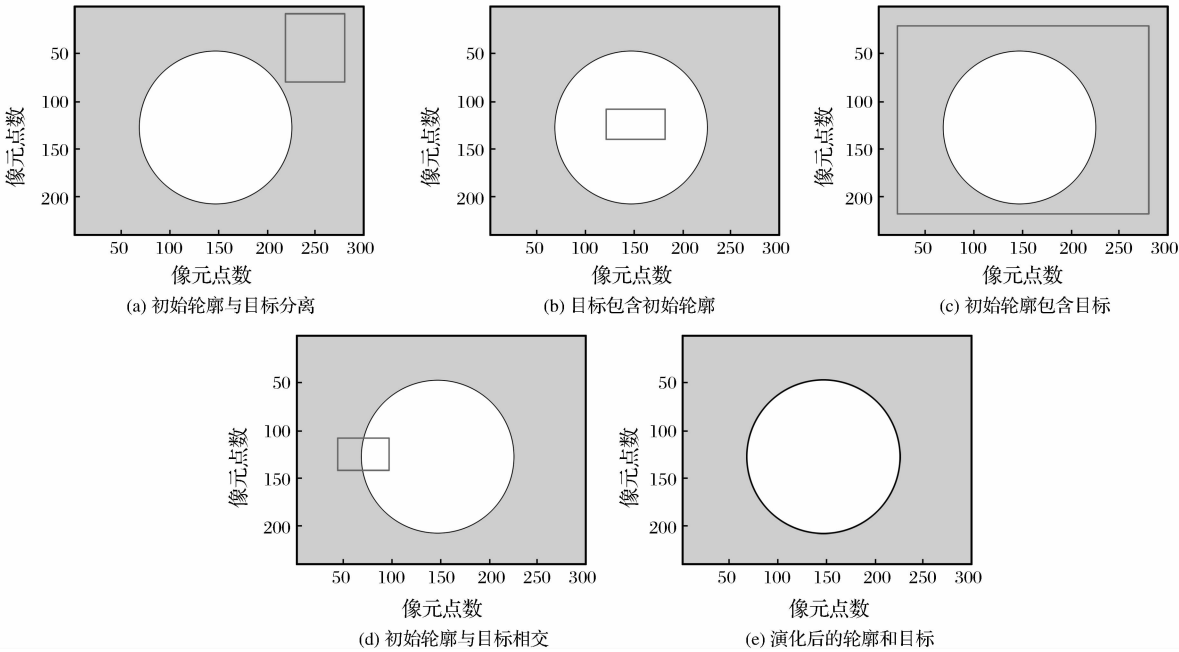


图 7 不同的初始轮廓和演化效果

Fig. 7 The effect of different initial contour and evolution

4.2.2 医学影像分割效果

通过将算法应用于背景简单的图像后,实现了理想的分割,验证了算法的有效性。为了更加准确地找到肿瘤区域的轮廓,将轮廓初始化为与肿瘤区域相交的矩形曲线,初始轮廓和初步的分割效果如图 8(a)和(b)所示,可见虽然曲线正确地找到了肿瘤区域,但仍然存在欠分割。由于图像并不是目标明显和背景简单,图像从外到内由黑到白变化,到了目标区域又变成白的,给分割带来了一定的干扰。

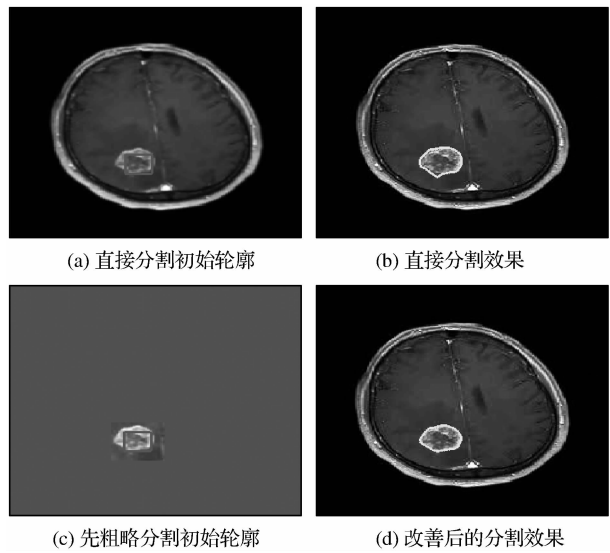


图 8 直接分割和改善后的效果

Fig. 8 Direct segmentation and improvement effect

为了解决上述算法因图像其他区域灰度影响而产生的欠分割,对其进行改进:首先进行粗略分割,将外面灰度值较大的区域设置成灰度值较小的值,再应用初始的算法操作,经过迭代后分割效果得到了改善,降低了算法的自适应性。直接用整副图像计算速度函数时的初始轮廓、直接分割的效果、用粗略分割后图像来计算速度函数的初始轮廓、改善后的分割效果如图 8(c)和(d)所示。综合初步算法和改进算法,得出在待分割目标的像素值平均水平和目标背景的像素值平均水平具有明显差异的条件下,计算速度函数时可以较为理想地将图像中目标和背景信息以正负值的形式体现出来。从图 8(c)和(d)可以看出当,图像只有背景和目标两个层次时,文中的算法可以有效分割图像。

为了验证鲁棒性,下面分割 3 幅分别含有肿瘤的医学影像,其中图 9(a)和(b)是含有单纯肿瘤的图像,图 9(c)是含有简单嵌套肿瘤的图像。所以对于图 9(a)和(b)迭代次数是 10 次,而对于图 9(c)迭代次数是 30 次。

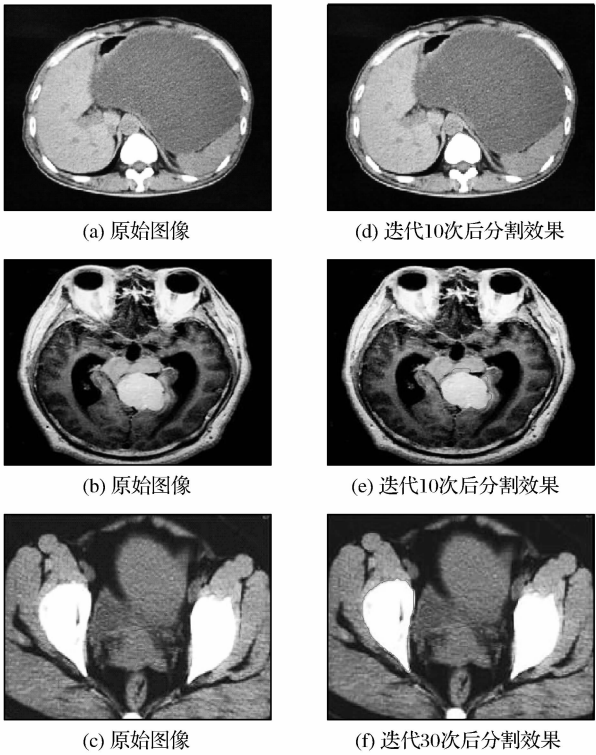


图 9 算法的鲁棒性研究

Fig. 9 Research on the robustness of the algorithm

分析算法迭代后的图像,对于单目标图 9(d)、(e)和简单嵌套目标图 9(f),通过控制迭代次数可以达到很好的分割效果。

5 结 语

本文验证了水平集算法分割图像的关键是根据要分割图像的特征选用合适的速度函数。提出了一种改进的分割算法,对测试样本影像进行精确分割。算法不仅能够克服传统 Snake 模型和 CV 模型的不足,对复杂情况也能够进行分割,有效消除了欠分割的状况,并且算法实现时间快,克服了近几年时间效率的问题。为了验证算法适用的范围,又选取含有单一肿瘤和简单嵌套肿瘤的 3 幅图像通过控制迭代次数实现了理想的分割,充分验证了算法的鲁棒性,可以广泛应用于医学图像分析和手术计划、计算机辅助手术等方面。但是文中所使用的算法是有假设前提的,即算法适用的图像应满足待分割目标的像素值平均水平和目标背景的像素值平均水平应该具有明显的差异,这是因为算法每次计算更新量时都会用到整幅图像,所以伪目标区域会影响曲线的演化,对于多层嵌套目标的分割效果不理想。从图 10(a)、(b)可以看出,当图像只有背景和目标两个层

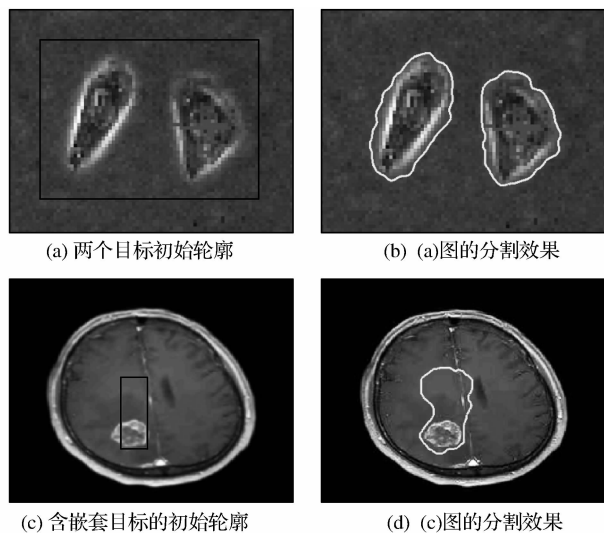


图 10 算法的局限性研究

Fig. 10 Research on the limitations of the algorithm

次时,本文算法可以取得较好的分割效果,而从图 10(c)、(d)可以看出,对于含有背景、目标和嵌套子目标的图像,只能通过人为因素的参与调整初始化轮廓来改善分割效果,降低了算法的自适应性,所以本算法具有一定的适用范围,后续研究工作中将进行重点研究。

#### 参考文献 (References):

- [1] Wang Yangping, Du Xiaogang, Zhao Shuxu. The Medical Image Processig[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012. [王阳萍, 杜晓刚, 赵庶旭. 医学影像图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.]
- [2] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active Contour-models[J]. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(4): 321-331.
- [3] Osher S, Sethian J A. Fronts Propagating with Curvature Dependent Speed; Algorithms based on Hamilton-Jacobi Formulation[J]. Comutphys, 1988, 79(1): 12-49.
- [4] Chart T F, Vese L A. Active Contours without Edges[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(2): 266-277.
- [5] Zhou S, Zhang X W, Zhang J P, et al. Medical Image Processing. Spectral-spatlal Classification of Hyperspectral Image based on Semi-supervised and Level Set Methods[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, Germany, 2012.
- [6] Zhang K, Zhang L, Song H, et al. Active Contours with Selective Local or Global Segmentation: A New Formulation and Level Set Method[J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(4): 668-676.
- [7] Huang D Y, Wang C H. Optimal Multi-level Thresholding Using a Two-stage Otsu Optimization Proach[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(3): 275-284.
- [8] Jin Danian. Research of Approaches in Medical Image Segmentation based on Level Set[D]. Guangzhou: First Military Medical University, 2005. [金大年. 基于水平集的医学图像分割算法研究[D]. 广州: 第一军医大学, 2005.]
- [9] Zhang Na, Zhang Jianxun, Wang Huijuan, et al. Medical Image Segmentation based on Multi-threshold Single Level Set[J]. High Technology Letters, 2009, 19(11): 1164-1169. [张娜, 张建勋, 王慧娟, 等. 基于多阈值单水平集方法的医学图像分割[J]. 高技术通讯, 2009, 19(11): 1164-1169.]
- [10] Li Yuxin, Deng Shuangcheng, Cao Yingyu. Medical Image Segmentation based on Level Set Method[J]. Journal of Beijing Institute of Petrochemical Technology, 2008, 16(4): 50-54. [李宇鑫, 邓双成, 曹莹瑜. 基于水平集方法的医学图像分割[J]. 北京石油化工学院学报, 2008, 16(4): 50-54.]
- [11] Shi Weili, Miao Yu, Yan Yan. Medical Image Segmentation Method based on ITK Level Set[J]. Journal of Changchun University of Technology, 2008, 29(5): 516-519. [师为礼, 苗语, 颜雁. 基于 ITK 的水平集医学图像分割算法[J]. 长春工业大学学报, 2008, 29(5): 516-519.]
- [12] Fu Zengliang, Zhou Jian, Ye Ming. Fast Medical Image Segmentation Method based on Level Set Technique[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(24): 5667-5669. [付增良, 周健, 叶铭. 基于水平集的医学图像快速分割方法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(24): 5667-5669.]
- [13] Lin Ying, Yin Guisheng, Yang Yun. Segmentation of Medical Images with Intensity in Homogeneity based on Variational Level Set[J]. Computer Engineering, 2010, 36(24): 203-205. [林颖, 印桂生, 杨耘. 基于变分水平集的灰度不均匀医学图像分割[J]. 计算机工程, 2010, 36(24): 203-205.]
- [14] Ren Xiaoying, Lu Xiaoqi, Zhang Baohua, et al. A Hybrid Segmentation Method for Brain MRI based on Level Set[J]. Bulletin of Science and Technology, 2013, 29(2): 88-90. [任晓颖, 吕晓琪, 张宝华, 等. 基于水平集的脑部 MR 图像混合分割算法[J]. 科技通报, 2013, 29(2): 88-90.]

# Improved Medical Image Segmentation Algorithm based on Level Set

Chen Yuling<sup>1</sup>, Tian Youliang<sup>2</sup>

(1. *Guizhou Radio&TV University Information Technology Department, Guizhou 550023, China;*

*2. Guizhou University College of Science, Guizhou 550025, China;*)

**Abstract:** Medical image segmentation, which is difficult to solve problem in the image segmentation, has important application in the medical field. For the features of medical image and the differences of the image segmentation algorithm, this paper presents an improved medical image segmenration algorithm using the level set. Firstly this paper proposes the velocity function and the core of level set algorithm by the curve evolution emulation. Secondly, we use rough segmentation to image by choosing velocity function, changing the region of strong gray value into that of small gray value, and finding out the object region in image according to emulation evolution exactly. Finally, we fulfill exact segmentation in medical image through initial algorithm with the help of the chosen velocity function based on times of iterative operation. Experimental result shows that the proposed algorithm is able to identify the region of tumors exactly, as well as it is robust to image segmentation efficiently.

**Key words:** Image segmentation; Evolution curve; Active contour; Level sets