

# 结合自适应变化停止函数的边缘活动轮廓模型\*

周奔, 何传江, 原野

(重庆大学数学与统计学院, 重庆 401331)

**摘要:** 在基于边缘的活动轮廓模型中, 边缘停止函数的选择将直接影响模型的分割效果。传统的边缘停止函数仅仅是基于梯度模型建立的一个单调递减的正函数, 基于这种边缘停止函数的活动轮廓模型存在两个缺点: 一是对噪声比较敏感; 二是对灰度不均图像分割不准确。为此, 提出一个自适应变化边缘停止函数。实验表明, 使用该边缘停止函数构造的边缘活动轮廓模型能够较好地克服上述不足。

**关键词:** 图像分割; 水平集方法; 活动轮廓模型; 自适应变化系数; 自适应变化停止函数

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0366-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.101

## Edge-based active contour model with adaptive varying stopping function

ZHOU Ben, HE Chuan-jiang, YUAN Ye

(College of Mathematics & Statistics, Chongqing University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** The edge stopping function is influence the results in edge-based active contour models. It is a strictly monotonically decreasing positive function only about the gradient magnitude of image. The active contour models based on this type of edge stopping function have the drawbacks of high sensitiveness to noise and inaccurately locating the edge of the images with intensity inhomogeneity. This paper proposed a new adaptive varying stopping function to hopefully overcome the two drawbacks above. Experimental results show that an active contour model based on the new edge stopping function can really overcome the above-mentioned drawbacks.

**Key words:** image segmentation; level set method; active contour model; adaptive varying coefficient; adaptive varying edge stopping function

### 0 引言

近年来,几何活动轮廓模型<sup>[1-7]</sup>已成为图像分割领域的主要发展方向之一,得到国内外学者的广泛关注。几何活动轮廓模型是基于曲线演化和水平集理论的。依据图像的不同特征,活动轮廓模型可分为边缘模型<sup>[3-5]</sup>和区域模型<sup>[6,7]</sup>两大类。前者利用梯度信息来实现将活动轮廓牵引到目标边界,对于噪声图像边缘模型有更好的效果;后者则利用区域信息来控制曲线的移动,如对于灰度不均图像用区域模型有更好的分割效果。总之它们在图像分割应用中各有千秋,优劣一般取决于图像所具有的特征。本文讨论边缘模型,边缘活动轮廓模型是仅仅利用图像梯度模定义的边缘停止函数使演化曲线停止在目标边缘上。边缘停止函数是一个严格单调递减的正函数  $g$  和高斯平滑后的图像梯度模  $|\nabla(G_\sigma * I)|$  的复合函数:  $g(s) = h(s/L)$ 。其中,  $L$  是正常数,  $s = |\nabla(G_\sigma * I)|$ 。例如,经典的 GAC 模型和无须初始化模型的边缘停止函数取系数  $L = 1$ 。如图 1 所示,  $L$  的值直接影响着  $g$  函数的趋近零速度,由于边缘活动轮廓模型是依赖梯度作为检测物体的演化停止条件,边缘点和噪声点处梯度值均较大,而当  $L$  的值取定的情况下: a) 在

噪声处边缘停止函数就可能达到局部极小值,使得模型对噪声比较敏感; b) 对于某些由于图像灰度不均而导致非边缘部分会产生较大的梯度值,边缘停止函数在此处就已趋近零,使得模型对此类图像分割不准确。

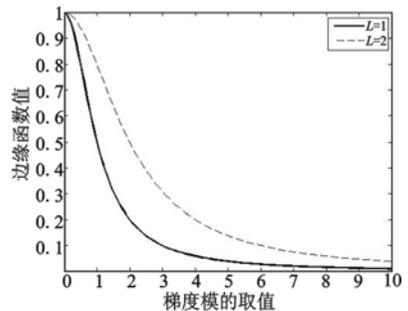


图1 L大小影响停止函数趋近零的速度

因此本文提出一种融合区域信息的边缘停止函数,停止函数是随着水平集的演化而自适应地变化。本文以距离正则化的水平集演化模型<sup>[4]</sup>为实验模型,实验结果表明,使用该新的边缘停止函数构造的边缘活动轮廓模型比距离正则化的水平集演化模型抗噪性有显著的提高,对灰度不均的图像边界定位更加准确。

收稿日期: 2011-05-12; 修回日期: 2011-06-24      基金项目: 重庆大学中央高校基本科研业务费科研专项研究生科技创新基金资助项目 (CDJXS11100031)

作者简介: 周奔(1985-),男,江西上饶人,硕士研究生,主要研究方向为偏微分方程、图像处理(woshizhdb@163.com);何传江(1964-),男,贵州遵义人,教授,博导,博士,主要研究方向为偏微分方程、图像处理;原野(1985-),男,河南郑州人,博士研究生,主要研究方向为偏微分方程、图像处理。

### 1 距离正则化的水平集演化模型

距离正则化的水平集演化模型<sup>[4]</sup>是在无须初始化模型<sup>[5]</sup>基础上引入了新的符号距离保持项得到的基于边缘停止函数的边缘活动轮廓模型,它的能量泛函为

$$\begin{aligned} \varepsilon(\varphi) = & \mu \int_{\Omega} p(|\nabla \varphi|) dx dy + \\ & \lambda \int_{\Omega} g(I) \delta(\varphi) |\nabla \varphi| dx dy + \\ & \nu \int_{\Omega} g(I) H(-\varphi) dx dy \end{aligned} \quad (1)$$

利用最速下降法,得到能量泛函式(1)对应的梯度流方程为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = & \mu \operatorname{div} (d_p(|\nabla \varphi|) \nabla \varphi) + \\ & \lambda \delta(\varphi) \operatorname{div} \left( g(I) \frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|} \right) + \nu g(I) \delta(\varphi) \end{aligned} \quad (2)$$

其中:

a)  $\mu > 0, \lambda > 0, \nu$  是常数。参数  $\nu$  控制着演化曲线的演化方向和速度:当  $\nu > 0$  时,曲线向内收缩; $\nu < 0$  时,曲线向外扩张。 $|\nu|$  越大,演化速度越快。

b)  $H(z)$  和  $\delta(z)$  分别是 Heaviside 函数和 Dirac 数的正则化函数。

$$c) \text{符合距离保持项 } p(s) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi^2} (1 - \cos(2\pi s)), & \text{if } s \leq 1 \\ \frac{1}{2} (s - 1)^2, & \text{if } s \geq 1 \end{cases},$$

$$d_p(s) = \frac{p'(s)}{s}.$$

如经典的 GAC 和其他基于边缘的活动轮廓模型一样,上式的边缘停止函数中  $L$  是一个常数。为了提高模型的抗噪性和对灰度不均图像分割的准确性,提出一个结合了区域信息的自适应变化停止函数  $g(I, L_\beta)$ , 它的系数  $L_\beta$  是随着零水平集演化而自适应变化的。

### 2 本文方案

在基于边缘的活动轮廓模型中,边缘停止函数的定义是十分重要的,由于边缘停止函数中  $L$  是一个常数,这样停止函数仅仅由梯度模的大小决定,导致模型在图像噪声处和非边界的梯度较大处可能达到局部极小值,从而使得模型的抗噪性差和对灰度不均图像分割的不准确。为了解决这一问题,本文引入了自适应变化系数  $L_\beta$ ,它能够根据图像信息和水平集的演化自适应地改变大小。

基于以上考虑,本文定义:

$$L_\beta = ((I - c_1)^2 + 1) / ((I - c_2)^2 + 1) \quad (3)$$

其中: $I(x, y)$  是待分割的图像,  $c_1$  和  $c_2$  分别为图像在区域  $\text{in}(C)$  和  $\text{out}(C)$  中的平均灰度值( $C$  是演化曲线)。

结合提出的自适应变化  $L_\beta$ ,得到了自适应变化边缘停止函数:

$$g(I, L_\beta) = \frac{1}{1 + \left| \frac{(\nabla G_\sigma * I)}{L_\beta} \right|^2} \quad (4)$$

自适应变化停止函数  $g(s, L_\beta)$  大小是由图像内外平均灰度变化和梯度决定的,因此它能够根据图像信息和水平集的演化自适应地调整大小。

下面对停止函数  $g(I, L_\beta)$  作分析:

a) 如图 2(b) 所示,当水平集包围目标且离边界较远时,  $(I - c_1)^2 + 1 \gg 1, (I - c_2)^2 + 1$  的值接近 1,从而  $L_\beta \gg 1$ ,此时  $g(I, L_\beta) \approx 1$ ,在非边界处模型不会陷入局部极小值,这提高了模型的鲁棒性。

b) 如图 2(d) 所示,当水平集在目标边界时,  $(I - c_1)^2 + 1$  和  $(I - c_2)^2 + 1$  的值都接近 1,此时  $L_\beta$  近似 1。由于在边界处梯度模较大,故  $g(I, L_\beta) \approx 0$ ,模型在此处就会陷入全局极小值,这提高了对灰度不均图像分割的准确性。

图 2 给出了水平集离目标边界不同距离时对应的边缘函数  $g(I, L_\beta)$ 。从图中可以清楚地看到,边缘停止函数  $g(I, L_\beta)$  随着演化曲线的变化而自适应变化,从图中还可以看出,函数  $g(I, L_\beta)$  确实优于函数  $g$ 。结合本文的自适应变化停止函数式(4)和文献[4]的模型,得到了新的边缘活动轮廓模型:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = & \mu \operatorname{div} (d_p(|\nabla \varphi|) \nabla \varphi) + \\ & \lambda \delta(\varphi) \operatorname{div} \left( g(I, L_\beta) \frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|} \right) + \nu g(I, L_\beta) \delta(\varphi) \end{aligned} \quad (5)$$

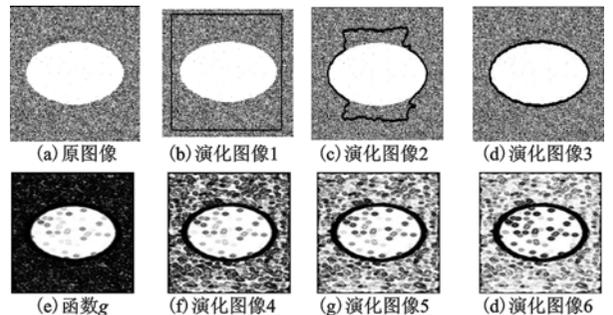


图 2 自适应边缘停止函数  $g(s, L_\beta)$  和  $g$  的图像显示

### 3 实验结果

在本章所有实验中,本文方案的参数选取为: $\lambda = 5.0, \nu = 3.0, \Delta t = 5.0, \mu = 0.04$ 。数值实现采用简单的中心差分法,实验平台是操作系统为 Windows XP 的 PC (Athlon XP 1700 + 1.47 GHz CPU/256 MB 内存),程序用 MATLAB 7.1 编写。

实验 1 图 3 中第一列为实验图像初始轮廓,第二列为文献[4]方案的分割结果,最后一列是本文方案的分割结果。其中:(a)为一幅大小为  $120 \times 120$  人工图像;(d)为高斯噪声图像(方差 0.05,均值为 0.5);(g)是一幅真实图像;(j)为高斯噪声图像(方差 0.01,均值 0.1)。从图中可以明显看出,加入适当的噪声后,文献[4]方案的迭代次数增加到 1 000 次(1 000 次水平集演化已趋于稳定)并且分割效果明显很不理想。而本文方案引入的自适应变化停止函数避免了模型在噪声处陷入局部极小值,只要适当增加迭代次数就能有较好的分割效果。

实验 2 为验证本文算法对灰度不均图像的分割效果,使用真实的医学图像作为待分割图像,图 4(a)和(d)分别是大小为  $116 \times 118, 172 \times 152$  的超声医学图像,由于整幅图像强烈的灰度不均,梯度最大处不在真正的目标边界,从而导致文献[4]方案在此处就陷入局部极小值而不能很好地分割出目标。本文的自适应变化停止函数中  $L_\beta$  在非边界初值很大,使得模型很难在非边界处陷入局部极小值,从而模型能够有较好的分割效果。图 4 第一列是初始轮廓;第二列是文献[4]结果;第三列是本文方案结果。

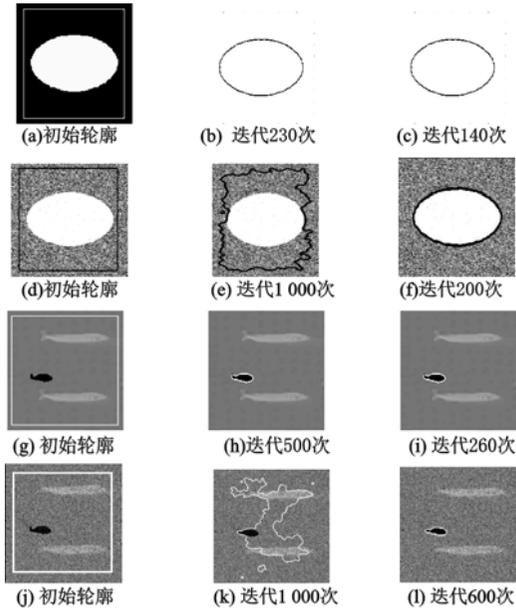


图3 噪声图像的分割

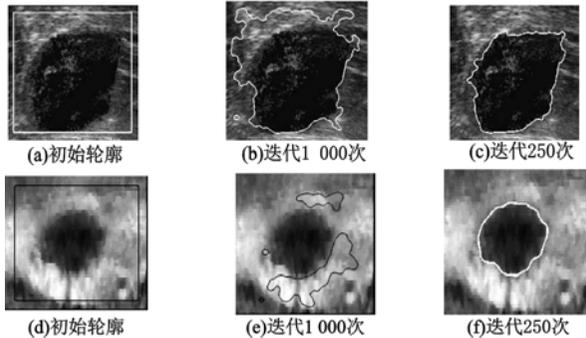


图4 灰度不均的图像分割

## 4 结束语

本文提出的自适应变化的边缘停止函数克服了传统停止函数的不足,对边缘活动轮廓模型有较好的改进。实验表明,结合区域变化的边缘活动轮廓模型相对于文献[4]方案在以下方面具有优势:a)对噪声的鲁棒性增强;b)对由灰度不均引起的非边缘梯度较大图像检测的有效性。

### 参考文献:

- [1] OSHER S, SETHIAN J A. Fronts propagating with curvature-dependent speed algorithms based on Hamilton-Jacobi formulation [J]. *Journal of Computational Physics*, 1988, 79(1): 12-49.
- [2] CASELLES V, MORE J M, SAPIRO G. Geodesic active contours [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1997, 22(1): 61-79.
- [3] 何传江,田巧玉.几何活动轮廓模型中停止速度函数的尺度变换[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(8): 82-84.
- [4] LI Chun-ming, XU Chen-yang, GUI Chang-feng. Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation [J]. *IEEE Trans on Image Process*, 2010, 12(19): 3243-3254.
- [5] LI Chun-ming, FOX M D. Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation [C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005: 430-436.
- [6] CHAN T F, VESE L A. Active contours without edges [J]. *IEEE Trans on Image Process*, 2001, 10(2): 266-277.
- [7] 张文娟,冯象初.基于非局部总变差的图像分割活动轮廓模型[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(6): 2373-2376.

(上接第 335 页)的数值精度受 DSR 值大小的影响非常明显,从 DSR = 1 到 DSR = 100,存在 6~9 个量级的精度损失。

## 4 结束语

本文针对 P3P 问题的求解,提出了一种具有高数值精度的半闭式解法。其思路是将迭代与闭式解法相结合。与迭代解法相比,本文的半闭式解法在保持高数值精度的同时可以求得 P3P 问题的全部可行解;与现有的闭式解法相比,本文的半闭式解法在数值精度和数值稳定性方面具有明显的优势。实验验证了本文方法的有效性。

### 参考文献:

- [1] LU C, HAGER G D, MJOLSNESS E. Fast and globally convergent pose estimation from video images [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(6): 610-622.
- [2] GRUNERT J A. Das pothenotische problem in erweiterter gestalt nebst über seine anwendungen in der geodäsie [J]. *Grunerts Archiv für Mathematik und Physik*, 1841, 1: 238-248.
- [3] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography [J]. *Graphics and Image Processing*, 1981, 24(6): 381-395.
- [4] WU Y H, HU Z Y. PnP problem revisited [J]. *Journal of Mathe-*

- matical Imaging and Vision, 2006, 24(1): 131-141.
- [5] GAO X S, HOU X R, TANG J L, et al. Complete solution classification for the perspective-three-point problem [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(8): 930-943.
- [6] DAVID P, DEMENTHON D, DURAISWAMI R, et al. SofiPOSIT: simultaneous pose and correspondence determination [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 59(3): 259-284.
- [7] QUAN L, LAN Z. Linear n-point camera pose determination [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(8): 774-780.
- [8] HARALICK R M, LEE C, OTTENBERG K, et al. Review and analysis of solution of the three point perspective pose estimation problem [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1994, 13(3): 331-356.
- [9] NOGUER F M, LEPETIT V, FUA P. Accurate non-iterative  $O(n)$  solution to the PnP problem [C]//Proc of ICCV. 2007: 1-8.
- [10] HARTLEY R, ZISSERMAN A. Multiple view geometry in computer vision [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [11] UMEYAMA S. Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(4): 376-380.
- [12] VERSCHELDE J. Algorithm 795: PHCpack: a general-purpose solver for polynomial systems by homotopy continuation [J]. *ACM Trans on Mathematical Software*, 1999, 25(2): 251-276.