

融合 Snake 模型与拓扑路线的图像分割算法^{*}

白凯, 李敏, 熊晶

(长江大学 计算机科学学院, 湖北 荆州 434023)

摘要: 为了能够提高图像边缘检测的准确度, 提出一种新型图像处理算法。该算法是基于主动轮廓方法和拓扑路线相结合的方法, 目的是提高图像检测过程的精确度。该算法提出了新型技术来整合拓扑路线和主动轮廓方法各自的优点。将基于拓扑路线的初始分割边界作为 Snake 模型输入信号, 并逐步演化成为最终对象的分割边界。实验结果表明, 该算法可以处理低对比度图像, 同时可以提高针对弱图像边界进行分割的准确度, 取得了更好的图像分割和边缘检测效果, 说明该算法有改进低对比度和自动图像分割系统的处理能力。

关键词: 图像分割; Snake 模型; 拓扑路线; 边缘检测; 图像增强

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0610-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.081

Fusion of Snake model and topological alignments algorithm for image segmentation

BAI Kai, LI Min, XIONG Jing

(School of Computer Science, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434023, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of the image edge detection, this paper presented a new image processing algorithms. It was based on combining active contour method and topology route, the purpose was to improve the accuracy of the image detection process. The algorithm proposed a new technology to integrate the respective advantages of the topology routes and the active contour method. Initial segmentation boundary based on the topology routes would serve as the Snake model input signal, and gradually evolved into the ultimate object segmentation boundary. The experimental results show that this algorithm can handle low-contrast images and graphics unit, indicating a weak image boundary segmentation accuracy can improve the accuracy of image detection technology. This paper has made a better image segmentation and edge detection results, and improved the handling capacity of low contrast and image segmentation system.

Key words: image segmentation; Snake model; topological alignments; boundary detection; segmentation enhancement

0 引言

在多维信号处理及其相关应用技术中, 图像分割是非常重要的步骤。根据形状信息进行图像分割的过程是确定图像点最佳位置的过程。图像分割是将数字图像分割成有特定应用的、有意义区域的执行过程。图像分割过程的重要目的是将图像像素集中在显著图像区域中。

图像分割技术可用于对象识别、运动遮挡对象识别、边缘预测、图像压缩、图像编辑、图像数据查询等各个子方面, 图像分割应用包括确定对象的检测, 其中包括利用对象的尺寸或场景形状来进行对象识别。在基于对象视频压缩运动场景中的不同距离下进行对象识别, 使用深度测量传感器激光测距仪使移动机器人路径规划化。

1 相关工作

准确的图像分割和边界检测是图像处理过程中的重要环节。例如, 白血球细胞分析是许多常见疾病治疗和疾病预防的

重要依据, 对于理解和成功治疗许多炎症性疾病十分重要^[1]; 对移动细胞的灵敏轨迹跟踪很重要, 适合进行数学建模的细胞运动。Zimmer 等人^[2]采用修改主动轮廓模型来检测运动细胞的流动性, 提出通过初始图像分割来处理细胞分裂。Mukherjee 等人^[3]提出通过图像水平集方法应用阈值来分解计算的同时进行问题跟踪和图像分割的算法。Li 等人^[4]研发具有两个层次、运动过滤器和水平集跟踪器的用来处理细胞检测和细胞移进移出的图像检测算法。Coskun 等人^[5]使用图像数据来解决反建模问题, 以确定细胞的相关流动性分析。本文提出在图像分割和细胞边缘检测中应用的新技术。

2 算法

拓扑路线和 Snake 模型都已应用于图像处理领域, 特别是在对象边界定位方面, 其有各自的优缺点。主动轮廓线可以动态、自动地从最初轮廓进行对象边界定位, 其主要优点是不需要进行额外处理, 在收敛时间内描述对象形状的分段线性情况。但是, 主动轮廓模型的好坏在很大程度上取决于能否发现

收稿日期: 2012-06-22; **修回日期:** 2012-08-02 **基金项目:** 湖北省教育厅科研基金资助项目(B200612012); 湖北省教育厅科研基金重点资助项目(D200712001)

作者简介: 白凯(1980-), 男, 湖北人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为图像处理与可视化技术(baikai2000@126.com); 李敏(1972-), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为计算智能与图像处理; 熊晶(1979-), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向为图像处理与三维可视化。

良好的图像梯度来推导轮廓,因为弱图像边界框架和低对比度下的图像自动分割缺乏准确性,这将极大地限制它们的作用。为了解决采用主动轮廓模型进行图像分割时出现的问题,本文应用拓扑路线方法来提高细胞追踪的图像分割性能和细胞跟踪结果的准确度。本文方法在每帧和下一帧的细分之间进行联系,降低了虚假检测和虚假轨迹的可能性。

本文提出的新型基于主动轮廓模型的图像分割和跟踪系统技术,需要结合拓扑路线方法,将拓扑路线和 Snake 模型的优点相融合来获得更准确的跟踪效果。本章将介绍采用此跟踪系统来检测和分析活动细胞的流动性。

本文方法共分为两个步骤:a)拓扑路线方法的初始分割用来改善细胞追踪分割性能和提高细胞的追踪结果;b)将输出信息转换成 Snake 模型的输入信息,并开始细胞边界演化和分析细胞流动性。

笔者使用来自 Rodrigo 2007(源于 CellAtlas.com 参考库,开放细胞图像数据库)的灰度图像,用人体血液细胞图像来测试本文算法。实验是在 70 种图像上进行的,采用图像处理算法的 OpenCV 库(Bradskiet^[6])来实现。本文提出的算法在 Windows 7 操作系统上应用 C++ 高级程序设计语言进行了实现。

2.1 主动轮廓模型

本文目标是通过将原始轮廓变型为感兴趣的对象边界来进行图像分割。这是通过对原始图像经过变型来实现,而这种方式能够最大限度地减少能量泛函。这种方式在 Kass^[7]、Ray^[1]、Zimmer^[2]和 Sacan^[8]等人的文章中均定义为轮廓。能量泛函由两部分构成:a)内部潜在的能量,当图像边缘与轮廓重合时很小;b)内部变型能量,当轮廓平滑时很小。在图像平滑的情况下,终止函数功能可实现梯度方向的演算。主动轮廓模型的参数可以表示为 $v(s) = (x(s), y(s))$,能量泛函可表示为

$$E = \int_0^1 E_{\text{int}}(v(s)) ds + \int_0^1 E_{\text{image}}(v(s)) ds + \int_0^1 E_{\text{ext}}(v(s)) ds \quad (1)$$

其中: E_{int} 代表样本弯曲的内部能量; E_{image} 引起图像力量; E_{ext} 产生外部约束力量; $a(s)$ 和 $B(s)$ 控制样本能量。因此,内部样本能量可表示为

$$E_{\text{int}} = \frac{a(s) |v_s(s)|^2 + B(s) |v_{ss}(s)|^2}{2} \quad (2)$$

通用的整个图像能量可表示为三个能量函数的加权组合形式:

$$E_{\text{image}} = w_{\text{line}} E_{\text{line}} + w_{\text{edge}} E_{\text{edge}} + w_{\text{term}} E_{\text{term}} \quad (3)$$

主动轮廓模型可分为区域基础模型和边缘基础模型两种。这两种模型之间的选择取决于不同的图像特征。主动轮廓模型的主要优点是不需要进行额外处理;在收敛时间内,对象形状的分段可以实现线性描述。但主动轮廓模型的好坏在很大程度上取决于能否发现良好的图像梯度来推动轮廓。

2.2 拓扑路线方法

该方法在视频序列中连接两个连续帧的分割,从分割过程的输出,该方法找到两帧之间的最大加权的解决方案,然后匹配段^[9-12]。

该方法应用索引集 $P = \{1, \dots, m\}$ 和 $Q = \{1, \dots, n\}$ 来确定

两个图像 m 和 n 的分割。假设细胞在连续两帧之间适当移动,将 p 和 q 相对重叠的部分作为其权,正式定义为

$$w(p, q) := |A(p) \cup A(q)| / |A(p) \cup A(q)| \quad (4)$$

获得一个相对重叠的分段集合,合并一个,它就更可能被考虑作为一个单元,但相对重叠与零合并表示不构成一个单元的分段集合,根据这些权重,可以确定拓扑路线的概念。将一个有限集合 M 和 S 所有 L 分区的集合 $PL(M)$ 表示成一个集合族,并将 L 子集确定为 $S = (S_1, \dots, S_L)$ 。

3 图像分割方法应用

该方法能够陈述这个路线以找到这些分区 S 和 T ,而这些分区在目标函数中实现最大。拓扑路线的方法通过明确考虑(一个段完全覆盖两个单元)分割下的固有问题,提高了细胞跟踪分割的性能,同时还允许细胞分裂的检测性能。该方法连接每帧和下一帧之间的分割,减少了虚假检测和虚假轨迹。

为了验证本文方法,笔者使用来自 Rodrigo 2007(源于 CellAtlas.com 参考库,开放细胞图像数据库)的灰度图像,用人体血液细胞的图像来测试该算法。本文在 70 种图像上进行了相关测试。图像处理算法基于 OpenCV 库(Bradskiet^[6])。图 1 阐述了部分图像分割结果中,应用 Snake 模型进行检测的效果图中有部分区域执行了误操作,图像轮廓不够规范;应用了本文算法进行检测的效果图中则能够得到规范图像轮廓,并不会导致区域跨界,适合用于进行细胞图像精确分割。结果表明,使用本文算法可以提高图像优势,以及用更好的和准确的分割来检测细胞轮廓的效果;使用拓扑路线改善分割性能,从而改善细胞检测结果。

根据如图 1~4 所示的图像分割效果,本文研究的结果揭示了较好的分割和更准确的检测及分析的白血球细胞,也揭示了改善低对比度的图像分割系统的处理能力。

图 1(b)(c)分别为使用 Snake 模型和本文算法进行图像分割的效果。可见本文算法的图像分割效果更准确,边缘更平滑。

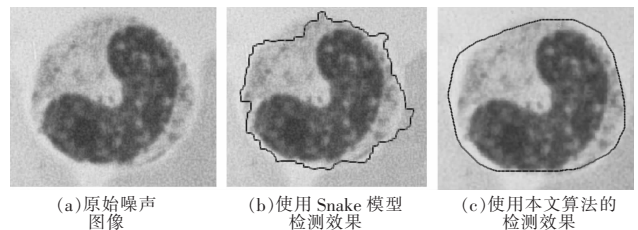


图 1 灰度实例图像分割效果图 1

图 2(b)(c)分别为使用 Snake 模型和本文算法进行图像分割的效果。可见本文算法的图像分割效果更准确,没有出现漏检测现象。

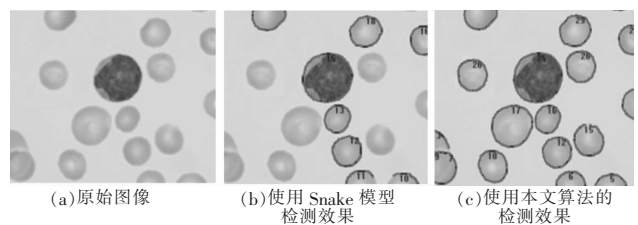


图 2 灰度实例图像分割效果图 2

图 3(c)~(f)分别为使用 Snake 模型和本文算法进行图

像分割的效果,可见本文算法的图像分割效果更准确,检测边缘更加完整。

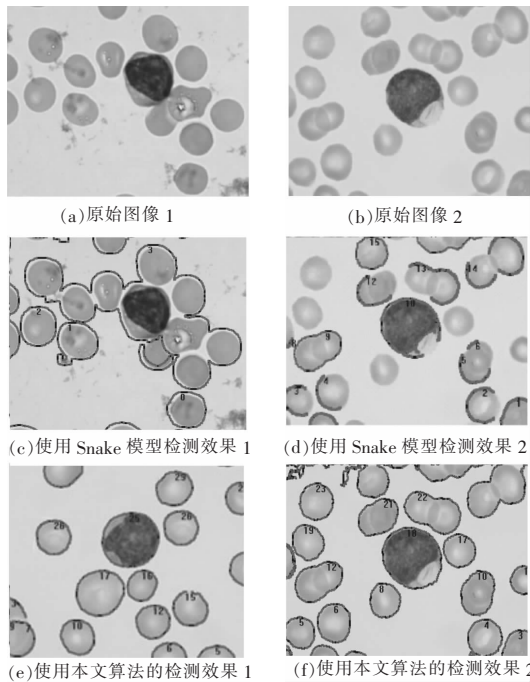


图 3 灰度实例图像分割效果图 3

图 4(b)(c)分别为使用 Snake 模型和本文算法进行图像分割的效果。可见本文算法的图像分割效果更准确,检测边缘更加平滑且完整。

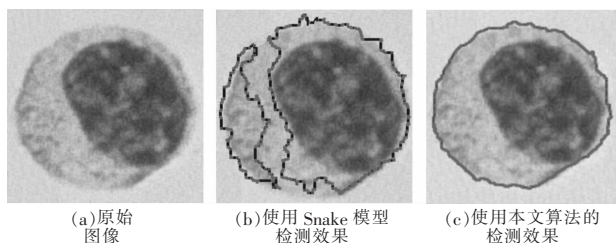


图 4 灰度实例图像分割效果图 4

4 结束语

拓扑路线和 Snake 模型可应用在图像处理,特别是对象边缘定位。主动轮廓模型的优点是不需要进行额外处理;在收敛时间内,对象形状可以进行分段线性描述。但主动轮廓模型在很大程度上依赖于良好的图像梯度来推导轮廓。模糊的图像边缘框架和低对比度的自动分割缺乏准确性,极大限制了其功效。为了解决主动轮廓模型使用中出现的的问题,本文应用拓扑路线方法来提高细胞追踪的分割性能和增加细胞检测结果的准确性。

本文实验将提出的算法与传统的 Snake 算法相比较。实验结果表明,本文算法可以提高在模糊图像边缘条件下进行图像分割的准确度。从本文实验中白血球细胞图像分割的结果可见,本文算法可以解决细胞检测技术中大部分的细胞检测问题,且准确度较高。

参考文献:

- [1] RAY N, ACTON S T, LEY K. Tracking leukocytes in vivo with shape and size constrained active contours[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 2002, 21(10): 1222-1235.
- [2] ZIMMER C, LABRUYRE E, MEAS-YEDID V, *et al.* Segmentation and tracking of migrating cells in video microscopy with parametric active contours: a tool for cell-based drug testing[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 2002, 21(10): 1212-1221.
- [3] MUKHERJEE D P, RAY N, ACTON S T. Level set analysis for leukocyte detection and tracking[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2004, 13(4): 562-572.
- [4] LI Kang, MILLER E, WEISS L, *et al.* Online tracking of migrating and proliferating cells imaged with phase-contrast microscopy[C] // *Proc of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*. 2006: 65-72.
- [5] COSKUN H, LI Y, MACKEY M A. Ameboid cell motility: A model and inverse problem, with an application to live cell imaging data[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2007, 244(2): 169-179.
- [6] BRADSKI G, KAEHLER A. Learning OpenCV: Computer vision with OpenCV library[M]. [S. l.]: O'REILLY Press, 2008: 120-125.
- [7] KASS M, WITKIN A, TERZOPOULOS D. Snake: active contour models[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1988, 110(3): 321-331.
- [8] MEIJERING E, SMAL I, DANUSER G. Tracking in molecular bioimaging[J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2011, 23(3): 46-53.
- [9] MIURA K. Tracking movement in cell biology[J]. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 2004, 95(2): 267-295.
- [10] ZIMMER C, ZHANG Bo, DUFOUR A, *et al.* On the digital trail of mobile cells[J]. *Signal Processing Magazine*, 2006, 23(3): 54-62.
- [11] JUNG U, NORMAN K E, SCHARFFETTER K K, *et al.* Transit time of leukocytes rolling through venules controls cytokine-induced inflammatory cell recruitment in vivo[J]. *Journal of Clin Invest*, 1998, 102(3): 1526-1533.
- [12] MELANGE T, NACHTEGAEL M, KERRE E E. Fuzzy random impulse noise removal from color image sequences[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2011, 20(4): 1023-1035.
- [13] LI Yi, ZHENG Ye-feng, DOERMANN D, *et al.* Script-independent text line segmentation in freestyle handwritten documents[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, 30(8): 1313-1329.
- [14] ERSOY I, BUNYAK F, MICHAEL A, *et al.* Cell segmentation using Hessian-based detection and contour evolution with directional derivatives[C] // *Proc of International Conference on Image Processing*. 2008: 1804-1807.
- [15] DEBEIR O, Van HAM P, KISS R, *et al.* Tracking of migrating cells under phase contrast video microscopy with combined mean-shift processes[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 2005, 24(6): 697-711.
- [16] SACAN A, FERHATOSMANOGLU H, COSKUN H. CellTrack an open source software for cell tracking and motility analysis[J]. *Bioinformatics*, 2008, 24(14): 1647-1649.
- [17] 王芳梅, 范虹, 王凤妮. 水平集在图像分割中的应用研究[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29(4): 1207-1210.
- [18] 吕雁, 冯大政, 吴艳. 基于描述方法的 SAR 图像分割[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29(3): 1169-1171, 1120.