

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 7
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年7月 第17卷 第7期(总第195期)

目次

综述

中国多媒体技术研究: 2011 史元春, 徐光祐, 高原(741)

图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 蒋平, 张建州(770)

图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 路子赟, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 何海清, 黄声享(853)

计算机图形学

应用最小生成树实现点云分割 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

医学图像处理

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 兰红, 张璐(873)

遥感图像处理

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

## 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 7 期

2012 年 7 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院

**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

**主 编** 李小文

**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa.ac.cn

电话:010-64807995 010-82614429

网 址:www.cjig.cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂

**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号

**总 发 行** 北京报刊发行局

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences

**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

**Chief editor** LI Xiaowen

**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn

**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

( Monthly , Started in 1996 )

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China, 2011 ..... Shi Yuanchun, Xu Guangyou, Gao Yuan (741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai, Yang Jingrong, Cao Yang, Wu Pengfei, Rao Ruizhong (748)

Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke (756)

Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping, Zhang Jianzhou (770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili, Fu Xiang (775)

Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu (783)

Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong (791)

Automatic measurement for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong (798)

Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang, Wang Lisheng (806)

Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi (813)

Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo (821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun (828)

Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li (839)

Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei (846)

Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing, Huang Shengxiang (853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling (858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo (866)

Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu (873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan (880)

SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie (886)

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0873-07

论文引用格式: 兰红, 张璐. 分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 873-879.

## 分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割

兰红, 张璐

江西理工大学信息工程学院, 赣州 341000

**摘要:** Snake 算法是主动轮廓模型的经典算法, 是近年来图像分割和视频领域研究的热点。针对 Snake 模型中存在的初始轮廓敏感和能量函数中曲率约束不足等问题, 提出将分水岭变换和主动轮廓模型相结合的主动轮廓分割算法。首先通过引入标记函数和强制最小值技术解决传统分水岭变换可能导致的过分割问题, 然后利用改进的强制标记分水岭算法优化 Snake 模型的初始轮廓曲线, 最后通过在 Snake 模型中增加一项与曲线形状相关的外部力弥补能量约束函数中曲率约束的不足, 从而实现更精确的图像分割。改进后的 Snake 模型应用于腹部 MR 图像中, 对肝脏图像的识别和分割取得了良好效果。

**关键词:** Snake 算法; 图像分割; 分水岭变换; 肝脏图像

### Liver image segmentation algorithm based on the Snake model and optimized by watershed transformation

Lan Hong, Zhang Lu

College of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China

**Abstract:** Directional Snake is a classical algorithm in the active contour models, and is widely used in the field of image segmentation and video research in the past few years. Aimed at sensitivity to the initial contour and lack of curvature constraints in the formulation of the function, an automatic contour segmentation algorithm based on an improved watershed transformation and active contour model is presented. First, a modified watershed algorithm based on the marker function and the mandatory minimum technology is proposed in this paper to deal with the over-segmentation. Then, the improved watershed algorithm is adopted for pre-segmentation, and the extracted object contour is taken as the initial contour for the Snake model. Finally, an external force, which is related to the curve shape, is added in the Snake model for making up the lack of curvature constraints in the formulation of the energy function for precise segmentation computation. The improved Snake model can achieve good results in the liver image recognition and segmentation when applied to the MR images of the abdomen.

**Key words:** Snake algorithm; image segmentation; watershed transformation; liver medical image

## 0 引言

图像分割就是根据某种均匀性(或一致性)的原则将图像分成若干个有意义的部分,使得每部分

都符合某种一致性的要求。图像分割在医学图像处理中具有十分重要的意义,通常分割是为了进一步对图像进行分析、识别,分割的准确性直接影响后续计算机辅助诊断的有效性,因此图像分割在肝脏图像的提取方面具有重要意义。

收稿日期: 2011-08-23; 修回日期: 2012-02-29

基金项目: 江西省教育厅科技项目(GJJ11465)

第一作者简介: 兰红(1969—), 女, 副教授, 北京科技大学控制科学与工程专业在读博士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别。

E-mail: lanhong69@163.com

基于曲线演化的形变模型近年来已被广泛地应用于图像分割。目前常见的曲线演化模型有基于参数的模型和基于几何特性的模型两种<sup>[1]</sup>。曲线演化中最经典的一种参数演化模型就是 Snake 主动轮廓模型算法,首先在图像的感兴趣区域附近定义一条带有能量的样条曲线(轮廓),然后在曲线自身的内力和图像信息产生的外力共同作用下不断运动,最后使该样条曲线收敛到目标边缘,此时能量处于最小值。Snake 模型具有一些经典方法所无法比拟的优点<sup>[2]</sup>,它将图像数据、初始估计、目标轮廓及基于知识的约束统一于一个特征提取过程中;经适当地初始化后,它能够自主地收敛于能量极小值状态;尺度空间中由粗到精,可以极大地扩展捕获区域和降低计算复杂性。但是 Snake 模型也有其自身的缺点,该算法的结果依赖于曲线初始轮廓,如果初始轮廓选取不好的话,算法可能收缩到局部极值,不能正确地分割。针对 Snake 模型存在的不足,很多研究者已经做了一些改进,比如黄辉等人<sup>[3]</sup>提出了一种动态规划算法来优化能量函数,能很好地避免局部最优,但此算法的收敛速度慢; Marsousi 等人<sup>[4]</sup>提出的 B 样条 Snake 算法,自适应节点插入,有效地降低了计算代价,但这些模型应用于医学图像的精确分割仍然存在一些问题。

分水岭变换方法是一种基于拓扑理论的数学形态学的分割方法,其基本思想来源于地形学,它将图像看做是地形学上被水覆盖的自然地貌,图像中的每一像素的灰度值表示该点的海拔高度,设想在各个局部极小值点打一个洞,将地形图逐渐浸入一个湖中,全局极小值点的盆地先进水,水位逐渐升高,当相邻两个盆地的水即将合并时,在两个盆地间建坝拦截。最终整幅图将被划分成许多山谷盆地。其每一个局部极小值及其影响区域称为集水盆,而集水盆的边界则为分水岭,分水岭就是分割这些盆地的堤坝,作为各个区域的分隔线。分水岭算法的突出特点就是对图像微弱边缘具有良好响应,但因图像纹理或噪声造成的低对比度变化可能产生许多局部山峰或山谷,经分水岭算法处理后会形成许多小区域,由此导致图像的过分割。针对过分割问题近年也有一些研究,比如 Li 等人<sup>[5]</sup>提出的一种内部边缘标记的算法,适用于遥感图像;徐燕等人<sup>[6]</sup>提出的一种基于多小波变换的分水岭算法,分割精度较高,但计算比较复杂。

本文采用标记控制和强制最小值技术解决分水

岭变换中的过分割问题,然后利用标记控制分水岭算法对形态学灰度梯度图进行运算,得到边缘曲线用于优化 Snake 模型的初始边缘,再引入外部能量项改进 Snake 能量函数提高迭代效率,最终实现图像的精确分割。

## 1 基本 Snake 模型

### 1.1 Snake 模型介绍

Snake 于 1987 年由 Kass 等人<sup>[7]</sup>提出,基本思想是以构成具有一定形状的一些控制点为初始轮廓线,这条曲线在外力的吸引下,不停地朝真实轮廓移动;而内力在保持 Snake 拓扑性的同时随着 Snake 的移动而变化,保持着轮廓曲线的连续和平滑,通过求解轮廓曲线能量函数的极小值来完成对图像的分割。

Snake 模型采用能量  $E_{\text{total}}(\mathbf{v}(s))$  定义目标轮廓线,  $\mathbf{v}(s) = [x(s), y(s)]$ , 其中  $s \in [0, 1]$  表示一组控制点,将这些控制点以直线相连组成轮廓线,该轮廓线的能量函数定义为

$$E_{\text{total}}(\mathbf{v}) = \int_0^1 E_{\text{Snake}}(\mathbf{v}(s)) ds = \int_0^1 [E_{\text{int}}(\mathbf{v}(s)) + E_{\text{image}}(\mathbf{v}(s))] ds \quad (1)$$

式中,  $E_{\text{int}}$  表示主动轮廓线的内部能量,  $E_{\text{image}}$  表示图像外部作用图像特征运动,主动轮廓线在内、外力作用下寻求其能量函数的极小值。式(1)中  $E_{\text{int}}$  由一阶项和二阶项组成,即

$$E_{\text{int}}(\mathbf{v}(s)) = (\alpha(s) |\mathbf{v}_s(s)|^2 + \beta(s) |\mathbf{v}_{ss}(s)|^2) / 2 \quad (2)$$

一阶项  $\mathbf{v}_s(s)$  为连续约束项,表示曲线的弹性能量,此项值越大就说明曲线越不容易被拉伸;二阶项  $\mathbf{v}_{ss}(s)$  为曲率约束项,表示曲线的弯曲能量,此项值越大说明曲线越不容易被变形。某点的  $\alpha$  和  $\beta$  值决定了轮廓线在该点的延伸及弯曲程度,如果某点的  $\alpha$  值为 0,则该点不连续;如果  $\beta$  为 0,则存在一个角点。式(1)中  $E_{\text{image}}$  可表示为

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

它是直线 line、边缘 edge 和界线 term 等能量项的线性组合。设图像灰度为  $I(x, y)$ , 则  $E_{\text{line}} = I(x, y)$ ,  $E_{\text{edge}} = -|\nabla I(x, y)|^2$ ,  $E_{\text{term}}$  是用高斯函数平滑过的图像中各级轮廓线的曲率。

求解能量函数  $E_{\text{total}}(\mathbf{v})$  的极小值是一个变分问题,式(1)可以写成泛函形式

$$E_{\text{total}}(\mathbf{v}) = \int_0^1 \mathbf{F}(\mathbf{v}(s), \mathbf{v}_s(s), \mathbf{v}_{ss}(s)) ds \quad (4)$$

$\mathbf{F}$  表示由变量  $\mathbf{v}(s), \mathbf{v}_s(s), \mathbf{v}_{ss}(s)$  组成的能量函数。泛函极值的条件是其变分  $\delta E$  为零,即

$$\delta E = \int_0^1 [F_v \delta \mathbf{v} + F_{v_s} \delta \mathbf{v}_s + F_{v_{ss}} \delta \mathbf{v}_{ss}] ds = 0 \quad (5)$$

最优化的 Euler 方程为

$$\mathbf{F}_v - \frac{d}{ds} \mathbf{F}_{v_s} + \frac{d^2}{ds^2} \mathbf{F}_{v_{ss}} = 0 \quad (6)$$

通过计算得到使  $E_{\text{total}}$  取极小值的曲线必须满足的 Euler-Lagrange 方程

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( \alpha \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial s} \right) - \frac{\partial^2}{\partial s^2} \left( \beta \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial s^2} \right) - \nabla E_{\text{image}}(\mathbf{v}) = 0 \quad (7)$$

将式(7)离散化后,对  $x(s)$  和  $y(s)$  分别构造两个 5 对角阵的线性方程组,通过迭代计算求解。

能量极小值处对应的  $\mathbf{v}(s)$  就是最终收敛的轮廓曲线。在能量函数极小化过程中,弹性能量迅速把轮廓线压缩成一个光滑的圆,弯曲能量驱使轮廓线成为光滑曲线或直线,而图像力则使轮廓线向图像的高梯度位置靠拢,基本 Snake 模型就是在弹性力,弯曲力,图像力这 3 个力的联合作用下工作。

### 1.2 Snake 模型存在的不足

主动轮廓线模型可以将待处理问题的先验知识与各种图像处理算法有效地融合在一起,比以往的计算视觉理论具有更强地实用性。然而 Snake 要求初始轮廓要尽可能地接近目标边缘,假如初始轮廓选取不好的话,曲线可能收缩到局部极值<sup>[8]</sup>,这将直接关系到最后的分割效果,所以 Snake 模型存在对初始轮廓选取敏感的问题。

同时传统 Snake 模型在实际应用中发现连续性约束函数和梯度能量约束函数对轮廓的影响较大,而曲率约束函数的影响较小<sup>[9]</sup>,这使得轮廓曲线常常因为过于追求与图像高梯度区的相似程度而丧失原来的基本轮廓形状,以至于影响最终的分割精度。

## 2 分水岭算法

### 2.1 分水岭算法介绍

分水岭算法的计算过程是一个迭代标注过程。分水岭变换比较经典的计算方法是 Vincent<sup>[10]</sup> 提出的。在该算法中,分水岭计算分为排序过程和淹没过程两个步骤。首先对每个像素的灰度级进行从低到高排

序,然后在从低到高实现淹没的过程中,对每一个局部极小值在  $h$  阶高度的影响域采用先进先出(FIFO)结构进行判断及标注。分水岭变换得到的是输入图像的集水盆图像,集水盆之间的边界点,即为分水岭。

分水岭变换应用到图像分割中称为分水岭分割,是指将原图像转换成一个标记图像,其中所有属于同一集水盆的点均被赋予同一个标记,并用一个特殊的标记来标识分水岭上的点,标记对应需分割的目标。

### 2.2 分水岭算法存在的不足

分水岭分割是一种基于数学形态学的非线性分割方法,具有并行化处理、边界定位准确、且分割结果连续等优点,但由于分水岭算法作用于梯度图有大量的由噪声或量化误差引起的局部极小值,其区域的伪边界无法避免,不同目标之间由于获取图像时的光照、角度等原因可能失去边界,由此可能会出现过分割问题,如图 1(a) 所示。

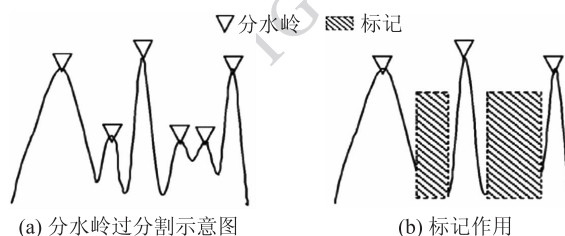


图 1 分水岭算法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of watershed algorithm

## 3 基于分水岭优化的 Snake 模型图像分割算法

### 3.1 基于标记控制的改进分水岭算法

针对传统分水岭变换中容易出现的过分割问题,本文采用标记控制方法和强制最小值技术改进分水岭算法。

标记方法是指将原图像转换成一个标记图像,标记是图像中的连通组员,对应于需分割的目标,具有相似的灰度值并组成一个连通的局部,如图 1(b) 中阴影部分就是两个标记。

强制最小值技术<sup>[11]</sup>就是将标记所在的位置图像灰度值置为最小值 0,这样能够突出主要轮廓,屏蔽次要轮廓避免过分割。

标记分水岭算法的实现过程是:首先从原始图像  $f$  得到梯度图,另一方面通过对  $f$  的特征提取获

得标记函数,将梯度图和标记函数组合起来运用强制最小值技术,这样能够屏蔽掉次要轮廓,再对图像进行分水岭变换得到结果曲线,具体的标记控制分水岭方法步骤如图 2 所示。

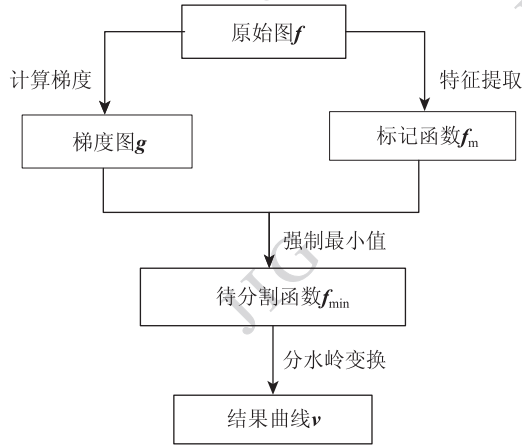


图 2 标记控制分水岭方法步骤图

Fig. 2 Steps figure of watershed algorithm based marker-control

将分水岭算法运用于腹部 MRI 肝脏图像分割,结果如图 3 所示。

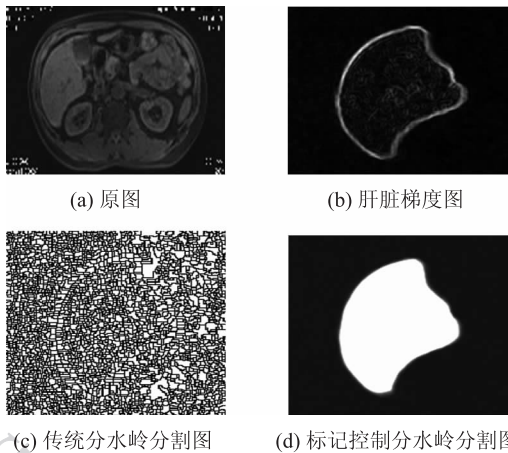


图 3 分水岭算法运用于腹部 MR 肝脏图像分割示意图

Fig. 3 Schematic diagram of watershed algorithm used in abdominal MR liver image segmentation

### 3.2 标记控制分水岭算法优化 Snake 初始轮廓

由于 Snake 对初始轮廓敏感,本文引入标记控制分水岭算法优化 Snake 初始轮廓,将数学形态学和 Ostu<sup>[12]</sup>方法与标记控制分水岭算法相结合,求得 Snake 模型的初始轮廓曲线。具体步骤如下:

1) 采用 Ostu 方法求出自动阈值  $w$ ,对图像进行阈值分割,对于每个像素  $(x, y)$ ,分割后图像每一点

灰度  $f_b(x, y)$  定义为

$$f_b(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) \leq w \\ 1 & f(x, y) > w \end{cases} \quad (8)$$

2) 用形态结构元素圆盘  $D$  对二值图像  $f_b$  作形态学开运算后,得到需要的标记函数为

$$f_m = f_b \circ D \quad (9)$$

这样标记部分的值是 0,非标记部分的值是 1。

3) 对梯度函数  $g$  用图像  $f_m(x, y)$  进行强制最小值操作,得到待分割图像

$$f_{\min}(x, y) = g(x, y)f_m(x, y) \quad (10)$$

即当  $(x, y)$  为标记点时,  $f_{\min}(x, y)$  为 0;  $(x, y)$  不是标记点时,  $f_{\min}(x, y)$  为梯度函数  $g(x, y)$ 。

4) 对  $f_{\min}(x, y)$  进行分水岭变换,结果得到图像区域的边界  $V, V = \{V_1, V_2, \dots, V_L\}$ 。  $V$  中的点  $V_i = (X_i, Y_i), i = \{1, 2, \dots, L\}$  是分水岭变换后确定为分水岭的点的子集。

### 3.3 Snake 能量函数的改进

针对 Snake 模型的能量函数中曲率约束不足导致的曲线收敛容易变形的问题,通过对式 (1) 增加一项外部能量项  $E_{\text{ext}}(v(s))$  来弥补曲率约束的不足,定义新的能量函数

$$E_{\text{total}}(v) = \int_0^1 E_{\text{Snake}}(v(s)) ds = \int_0^1 [E_{\text{int}}(v(s)) + E_{\text{image}}(v(s)) + E_{\text{ext}}(v(s))] ds \quad (11)$$

对式 (11) 进行离散化处理得

$$E = \sum_{i=0}^{n-1} [\alpha(i)E_{\text{cont}}(i) + \beta(i)E_{\text{curv}}(i) + \gamma(i)E_{\text{image}}(i) + \delta(i)E_{\text{ext}}(i)] \quad (12)$$

式中,  $E_{\text{cont}}(i) = |\bar{d} - |V_i - V_{i-1}||$ ,  $\bar{d}$  为受控点之间的距离;  $E_{\text{curv}}(i) = |V_{i-1} - 2V_i + V_{i+1}|^2$ ;  $E_{\text{image}}(i)$  取做图像的梯度。

新增的外部约束项  $E_{\text{ext}}$  是与曲线形状相关的能量项,定义为:  $E_{\text{ext}}(i) = |V_i - V_c|$ ,  $V_c = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} V_i$ , 其中  $n$  为 Snake 点的数目,  $V_i = (X_i, Y_i)$ , 表示第  $i$  个 Snake 点的坐标。

$\alpha_i$  表示施加于初始轮廓上的相邻两点的连续性(张力)约束项系数;  $\beta_i$  表示由初始轮廓上的相邻 3 点决定的带状(曲率)约束项系数,可视为刚性系数;  $E_{\text{cont}}(i)$  用来限制 Snake 上点的距离,使两点不能相距过远或过近,相当于张力,这个一阶导数项代

表示了轮廓曲线的弹性能量,弹性能量越大,曲线越不易被拉伸;第2项  $E_{curv}(i)$  则是某点与相邻两点所成夹角的函数,为曲率约束,代表轮廓曲线的弯曲能量,弯曲能量越大,曲线越不易变形;  $E_{image}$  是依赖于图像性质的能量函数,选取它为图像灰度的梯度能量,将变形轮廓向梯度高的点即轮廓处移动;式(11)通过迭代计算后曲线收敛到能量  $E$  最小的位置,即目标区域的边缘。

### 3.4 算法实现过程

基于分水岭优化的 Snake 模型图像分割算法的主要思想是对图像运用分水岭变换后得到的曲线作为 Snake 算法的初始轮廓曲线,这样有效地解决了 Snake 初始轮廓敏感的问题;再用改进的 Snake 算法进行轮廓线上点的迭代运算,最后趋近真实目标边缘,从而实现更准确的分割,具体方法如下:

- 1) 输入原始图像  $f$ , 计算  $f$  的梯度图;
- 2) 依据 3.2 节介绍的步骤对原始图像进行分水岭变换, 得到接近目标轮廓的轮廓, 以此作为 Snake 的初始迭代轮廓, 这样避免了人工选取初始轮廓的复杂性;
- 3) 初始轮廓迭代计算过程。根据式(12)计算初始轮廓上点  $i$  的  $3 \times 3$  邻域内的能量, 把邻域内最小能量的点 temp 赋予点  $i$ ;
- 4) 计算  $i$  点的曲率能量, 并与已定义的最大曲率能量 Max\_curvature 进行比较;
- 5) 判断点  $i$  是不是初始轮廓最后一点, 若是, 迭代结束, 进入步骤 6); 若不是, 回到步骤 3);
- 6) 归一化各点曲率能量。

依据以上算法步骤,可以得到基于分水岭优化的 Snake 模型图像分割算法流程如图 4 所示。

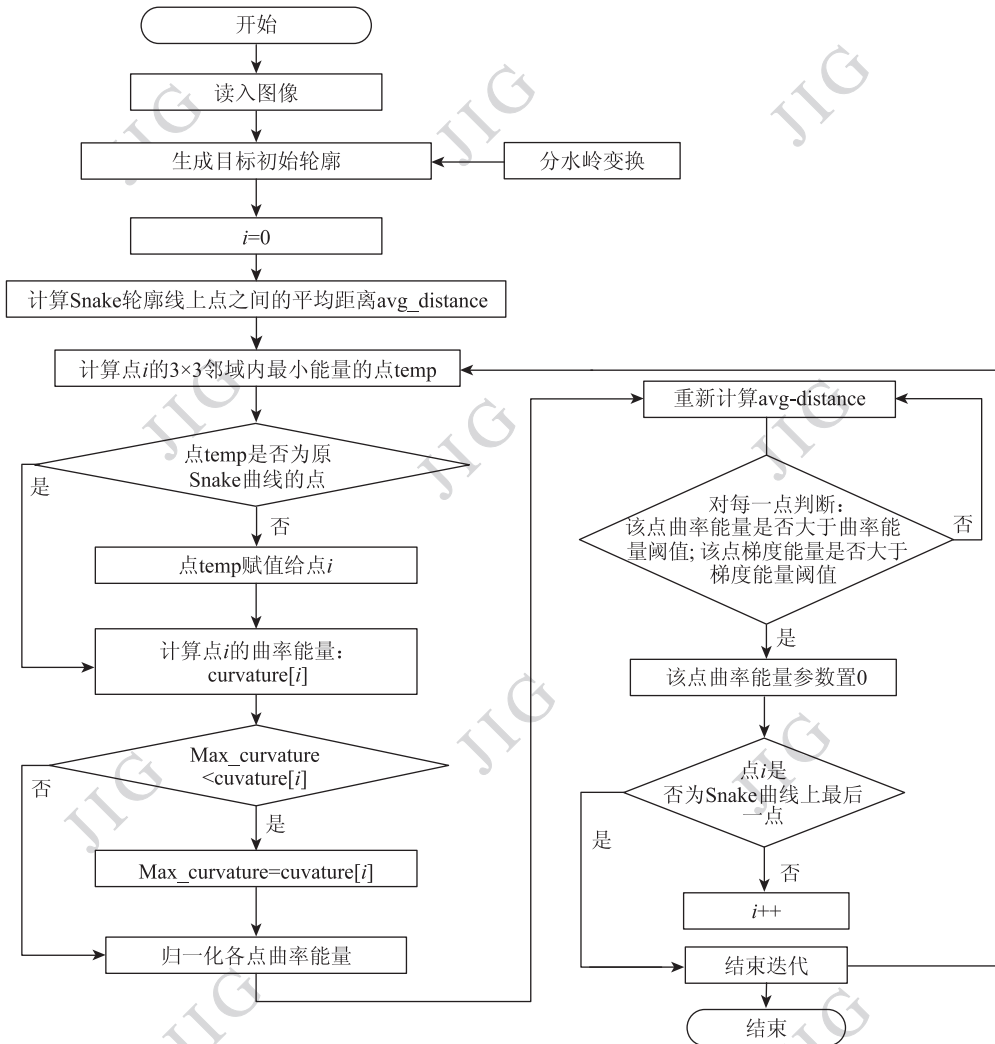


图4 算法流程图

Fig. 4 Flowchart of the algorithm

### 4 实验验证与效果分析

为了验证本文算法的有效性,算法是在 Window XP 操作系统平台上,采用 Matlab 工具和 VC 相结合实现的。实验数据来源于临床 100 幅 MR 腹部图像,以其中 3 幅为例,分别运用传统 Snake 算法、文献 3 的动态规划算法及本文算法进行图像分割,白色轮廓为最终分割结果,分别如图 5—图 7 所示。

图 5(a)所示为正常肝脏图片,通过预设一条初始轮廓,图 5(b)为传统 Snake 算法迭代 150 次的分割结果图,可以看出此算法容易陷入局部最优;图 5(c)为动态规划算法迭代 150 次的分割结果,此算法避免了局部最优,曲线能部分逼近目标真实边缘;图 5(d)为本文算法即先通过改进分水岭得到初始轮廓,再用改进的 Snake 算法迭代 100 次的分割结果,可以看出分割结果很接近目标轮廓,目标区域很好地被识别出来。

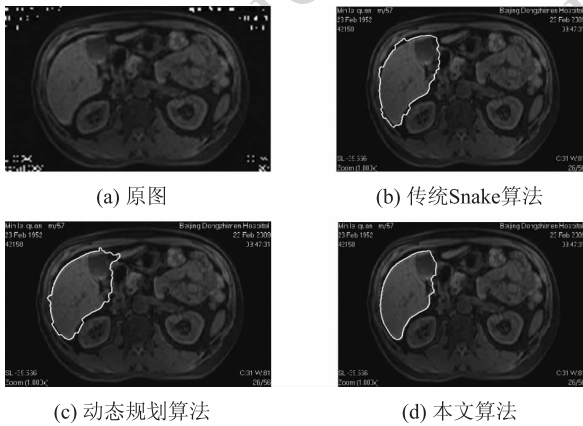


图 5 腹部肝脏图像分割结果  
Fig. 5 Segmentation results of abdominal MR liver image

图 6(a)及图 7(a)所示为乙肝患者及早期肝癌患者肝脏图片,与正常肝相比,病灶边缘不清晰。分别运用 3 种算法,参数设置跟图 5 一样,最终分割结果如图 6 及图 7 所示。

从实验结果可以看出,传统 Snake 算法分割结果最差,耗时最长,动态规划算法耗时有减少,本文算法耗时最少,且分割效果最好。本文算法应用于多个临床病例图片,对有病灶的肝脏图像分割效果较其他算法明显。实验证实本文提出的改进算法能有效地对腹部肝脏图像进行分割,提高了肝脏图片的分割精度。

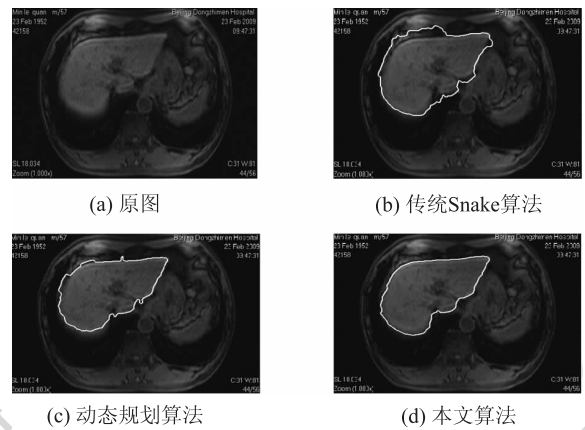


图 6 乙肝患者腹部肝脏图像分割结果  
Fig. 6 Segmentation results of hepatitis b patient abdominal MR liver image

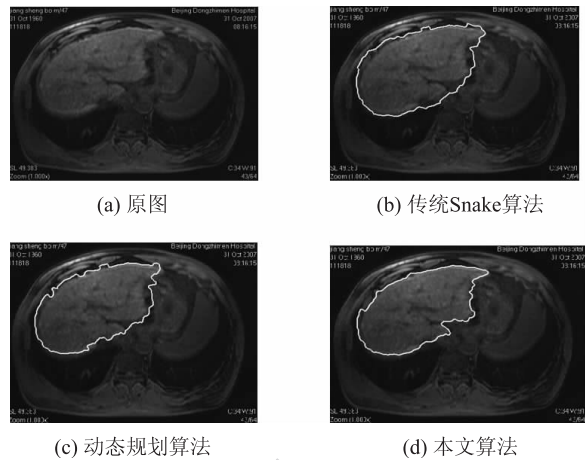


图 7 肝癌患者腹部肝脏图像分割结果  
Fig. 7 Segmentation results of liver cancer patient abdominal MR liver image

### 5 结论

针对 Snake 模型中存在的对轮廓曲线初始位置要求敏感,收敛精确度不高等问题进行了改进,提出了一种基于分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割方法。此算法改善了原有 Snake 模型中手动设置初始轮廓容易造成的与目标区域差距较大的问题,提高了算法的迭代效率和准确性。但由于人体自身的个体差异导致不同病灶的临床医学图像具有不同的特征,因而目前还没有一种通用的图像分割方法适合所有的医学图像,进一步的研究将集中在更多领域的医学图像分割和提高分割精度和效率等方面。

## 参考文献(References)

- [ 1 ] Zhu G P. Image segmentation based on active contour model [ D ]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007. [ 朱国普. 基于活动轮廓模型的图像分割 [ D ]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007. ]
- [ 2 ] Li T Q, Zhang Y, Liu Z. An overview on snakes models [ J ]. Computer Engineering, 2005, 31 ( 9 ): 1-3. [ 李天庆, 张毅, 刘志. Snake 模型综述 [ J ]. 计算机工程, 2005, 31 ( 9 ): 1-3. ]
- [ 3 ] Huang H, Guan L T, Gong Y Y, et al. Directional snake based on dynamic programming [ J ]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42 ( 27 ): 31-32. [ 黄辉, 关履泰, 龚永义, 等. 基于动态规划的方向蛇模型 [ J ]. 计算机工程与应用, 2006, 42 ( 27 ): 31-32. ]
- [ 4 ] Marsousi M, Eftekhari A, Kocharian A, et al. Endocardial boundary extraction in left ventricular echocardiographic images using fast and adaptive B-spline Snake algorithm [ J ]. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2010, 5 ( 5 ): 501-513.
- [ 5 ] Li D, Zhang G, Wu Z, et al. An edge embedded marker-based watershed algorithm for high spatial resolution remote sensing image segmentation [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19 ( 10 ): 2781-2787.
- [ 6 ] Xu Y, Guan L T. M-band wavelet-based watershed medical digital image segmentation method [ J ]. Journal of Mathematical Medicine, 2007, 20 ( 3 ): 298-300. [ 徐燕, 关履泰. 基于多小波变换的分水岭医学数字图像分割算法 [ J ]. 数理医药学杂志, 2007, 20 ( 3 ): 298-300. ]
- [ 7 ] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models [ J ]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1 ( 4 ): 321-331.
- [ 8 ] Zhang Y J. Image Analysis [ M ]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 129-132. [ 章毓晋. 图像分析 [ M ]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 129-132. ]
- [ 9 ] Chen G P, Zhang Q L. An improvement of the snake algorithm [ J ]. Mathematical Theory and Applications, 2004, 24 ( 4 ): 41-43. [ 陈国平, 张清良. 一种改进的 Snake 算法 [ J ]. 数学理论与应用, 2004, 24 ( 4 ): 41-43. ]
- [ 10 ] Vincent L, Pierre S. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13 ( 6 ): 583-598.
- [ 11 ] Sollie P. Morphological Image Analysis: and Applications [ M ]. 2nd ed. NY: Springer Verlag, 2003.
- [ 12 ] Ostu N. A threshold selection method from gray-level histograms [ J ]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9 ( 1 ): 62-66.