

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **2**
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2月 第17卷 第2期(总第190期)

目次

综述

内容感知图像缩放技术综述 施美玲,徐丹(157)

图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 潘林,魏丽芳,郑炳锜,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的3维物体识别 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 王丽英,宋伟东(279)

计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 2 期

2012 年 2 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: 010-68407995 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

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

Contents

Review

Survey on content-aware image resizing techniques Shi Meiling, Xu Dan (157)

Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data Wang Liying, Song Weidong (279)

Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图法分类号: TP919.81 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0256-07

论文引用格式: 周亚男, 程熙, 骆剑承, 沈占锋, 胡晓东. 改进 GVF 的自动 Snakes 模型 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 256-262

改进 GVF 的自动 Snakes 模型

周亚男, 程熙, 骆剑承, 沈占锋, 胡晓东

中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

摘要: 针对 Gradient vector field Snakes 模型轮廓线需人工初始化的问题及 GVF 场强分布不合理所导致的模型效率低下和角点定位精度低的问题, 在分析 GVF 场强分布和模型迭代变形原理的基础上, 改进原始 GVF Snakes 模型: 模型以 SUSAN 算法提取的边缘点集构建 GVF Snakes 模型的初始化轮廓线; 并依据图像 SUSAN 边缘线和模型迭代变形原理局部修正和整体调整 GVF 场强分布, 以符合模型高效迭代变形和对角点、细边缘精确定位的需要。理论分析和实验结果表明, 改进 GVF 的自动 Snakes 模型提高了模型的计算效率, 对细边缘和角点有更高的定位精度。

关键词: 梯度向量场; Snakes 模型; SUSAN 算法; 边缘检测; 迭代变形算法

Automatic snakes model based on modified GVF

Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong

Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: To address issues about the initialization of Snakes' contour, computational inefficiency, and poor positioning accuracy of the traditional gradient vector field Snakes model, an improved GVF Snakes Model is proposed based on the analysis of the distribution and the deformation principle of the model. In the new model, edges are detected exploiting the SUSAN algorithm firstly; afterwards, a snake contour is initialized using the convex hull generated by the edge points. Then, according to the edges and the deformation principle, the model modifies the distribution of the GVF. Finally, the improved model detects the edges of synthetic images and natural images accurately. The experimental results show that the proposed model not only is efficient, but also has better performance on the weak edges and sharp corners.

Key words: gradient vector field; Snakes model; SUSAN; edge detection; deforming

0 引言

自 1987 年 Kass 等人^[1]提出 Snakes 模型(即主动轮廓模型)以来, 由于模型蕴涵了“调和上层知识和底层图像特征间矛盾”^[2]这一深刻的计算机视觉思想, 各种基于主动轮廓模型的图像分割、边缘检测和目标识别跟踪方法都快速发展起来^[2]。

原始 Snakes 模型可表达如下:

设 $\mathbf{v}(s) = (x(s), y(s))$ 为模型轮廓曲线, s 为弧长, 定义以 $\mathbf{v}(s)$ 为变量的模型总能量, 即

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

式中, E_{in} 为内部能量函数

$$E_{\text{in}}(\mathbf{v}(s)) = \frac{1}{2} [\alpha(s) | \mathbf{v}'(s) |^2 + \beta(s) | \mathbf{v}''(s) |^2]$$

收稿日期: 2011-03-07; 修回日期: 2011-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971228, 40871203); 国家科技支撑计划项目(2011BAH06B02)

第一作者简介: 周亚男(1987—), 男, 现为中国科学院遥感应用研究所地图学与地理信息系统专业在读硕士研究生, 研究方向为遥感图像处理分析。E-mail: zhounanq@126.com

$v'(s)$ 、 $v''(s)$ 分别为参数曲线的一阶导数和二阶导数,第1项使得轮廓曲线尽可能短,第2项使得轮廓曲线尽可能平滑, $\alpha(s)$ 、 $\beta(s)$ 分别为其权重; E_{ext} 为外部能量函数,其决定轮廓线收敛到图像特征点,对灰度图像可用其梯度图作为外部能量函数

$$E_{\text{ext}} = -|\nabla I(x,y)|^2 \quad (2)$$

这样,在上述 Snakes 框架下,图像分割转化为求轮廓线 $\hat{V} = (\hat{v}_0, \hat{v}_1, \hat{v}_2, \dots, \hat{v}_n)$,使得

$$E_{\text{total}}(\hat{V}) = \min_V (E_{\text{total}}(V)) \quad (3)$$

多年来,针对 Snakes 模型本身的局限性和不足,学者对模型能量函数构造和算法求解都做了很大改进,更在其基础上衍生了许多新的模型^[3-7]。其中,GVF Snakes 模型^[5] 最具代表性 (gradient vector flow, 梯度向量流)。GVF Snakes 模型针对原始 Snakes 模型中:1) 轮廓线的初始位置必须离真实边界很近,否则难以得到正确的分割结果;2) 原始 Snakes 模型无法捕获凹陷边界的两个难点,创新地将原始 Snakes 的图像力 (edge map) 用扩散方程进行处理,得到整个图像域的梯度向量流场 (GVF) 作为外部力场^[2],并取得了很好的实验效果。

在 GVF Snakes 模型中,GVF 分布 V_{GVF} 的求取是通过最小化如下能力函数得到

$$\varepsilon = \iint [\mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 * |V_{\text{GVF}} - \nabla f|^2] dx dy$$

式中, ∇f 是边缘图像的梯度场; u_x, u_y, v_x, v_y 是 GVF 在 x 和 y 方向上分量 u, v 的一阶偏导; μ 为图像噪声控制参数。

GVF Snakes 模型用 GVF 代替原始 Snakes 模型的外部力场,不但扩大了模型的捕获范围,而且能较好的分割出目标的凹陷部分^[8]。但其仍存在以下不足:1) GVF 在目标边缘线上的场强不为零,降低了模型对边缘的定位精度;2) GVF 场强整体变化趋势不符合模型迭代变形机制,算法效率低;3) GVF Snakes 模型是一种半自动化方法,其需要人工初始化轮廓线,不符合自动化的需要。针对上述不足,本文在分析 GVF 外力场分布和模型迭代变形原理的基础上,修正和调整 GVF 的强度分布,提高轮廓线的边缘定位精度和模型计算效率。同时,本文利用 SUSAN 算法初步检测图像边缘,并自动勾画模型的初始轮廓线,实现了 GVF Snakes 模型的自动化。

1 GVF Snakes 模型局限性分析

图1展示了灰度图像、灰度图像对应的梯度场以及由梯度场反向扩散得到的 GVF 图,其中虚线为图像边缘位置。

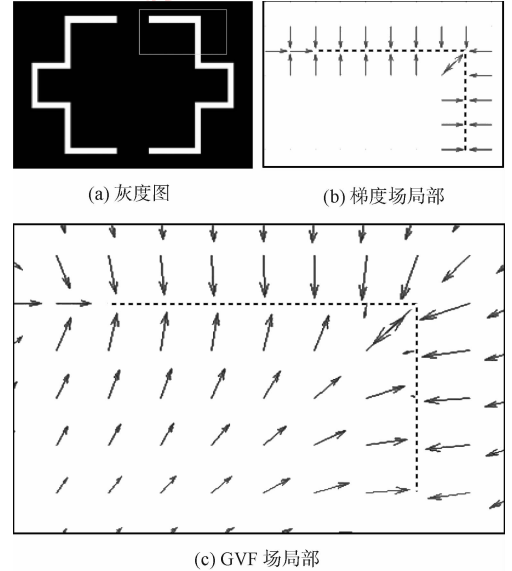


图1 GVF 局限性分析

Fig. 1 Limitations of the GVF field

1.1 模型边缘定位精度分析

原始 Snakes 模型的外部力场 (即梯度场,如图1(b)所示) 在目标边缘处的强度为零;模型轮廓线在图像内外力的作用下,通过迭代变形,能准确收敛到目标边缘处 (也是梯度为零处)。然而,GVF 的生成是一个边缘梯度不断向外扩散,增加其捕获范围的迭代计算过程,这使得目标边缘线上的外力场强受扩散效应的影响而不再为零 (如图1 GVF 中,始点在虚线上的矢量),而是一个具有一定强度的矢量。由于模型轮廓线是在 GVF 外力作用下通过不断迭代变形而趋近目标边缘;在模型变形过程中,边缘位置处的非零场强在轮廓线总能量最小化条件下,将引导轮廓线偏离真正的目标边缘位置,从而降低模型轮廓线对边缘的定位精度。并且这一缺点在目标角点处表现更为明显。

1.2 模型计算效率分析

GVF Snakes 变形逼近目标边缘的过程,是不断迭代最小化模型轮廓线总能量的过程。对式(1)的数值求解是通过满足下面欧拉方程 (2 维矢量形式,

下同)实现的^[1]。

$$\alpha \mathbf{v}'' + \beta \mathbf{v}''' + \frac{\partial \mathbf{E}_{\text{ext}}}{\partial \mathbf{v}} = \mathbf{0} \quad (4)$$

对式(4)两次积分得

$$\alpha \mathbf{v} + \beta \mathbf{v}'' + \int \mathbf{E}_{\text{ext}} ds = \mathbf{C} \quad (5)$$

式中, \mathbf{C} 为积分常量, 当 GVF Snakes 轮廓线靠近目标边缘时, 有 $\mathbf{v}'' = \mathbf{0}$, 此时式(5)写为

$$\alpha \mathbf{v} + \int \mathbf{E}_{\text{ext}} ds = \mathbf{C} \quad (6)$$

对式(6)微分得

$$\mathbf{v}' = \frac{\mathbf{E}_{\text{ext}}}{\alpha} \quad (7)$$

即

$$\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_{t-1} = \frac{\mathbf{E}_{\text{ext}}(\mathbf{v}_{t-1})}{\alpha} \quad (8)$$

式中, t 代表迭代的次数。式(8)的直观理解为: 模型轮廓线在图像外部力场作用下, 不断迭代计算, 逼近目标的真实边缘。同时, 在相邻的两次迭代中 GVF Snakes 轮廓控制点位置变化量同外部力场强度成比例关系。即外部力场越大, 控制点的变化越大; 外部力场越小, 控制点的变化越小。

从 GVF Snakes 模型迭代变形趋近目标边缘的机制看, 模型所需的外部力场 \mathbf{E}_{ext} 应当满足以下条件: 1) 当 GVF Snakes 轮廓线远离目标边缘时, \mathbf{E}_{ext} 应该较大, 以保证模型轮廓线较快收敛到图像边缘附近; 2) 当轮廓线靠近目标边缘时, \mathbf{E}_{ext} 应该较小, 以保证模型轮廓线精确高效地收敛到边缘的最优位置。然而, GVF 在远离目标边缘的位置处强度较小, 而在靠近图像边缘位置处强度较大(如图 1 所示)。这样, 在远离图像边缘位置处, GVF Snakes 轮廓线迭代变形量较小, 使得模型迭代次数增加, 降低了算法的效率; 而在靠近图像边缘位置处轮廓线迭代变化量较大, 使得收敛过程波动加大, 振动加剧, 不易收敛到图像边缘的最优位置, 导致轮廓线的畸形。

2 改进 GVF 的自动 Snakes 模型

针对 GVF Snakes 模型轮廓线的自动初始化问题和上述 GVF 场强的局限性, 本文从以下 3 个方面介绍: 1) 利用 SUSAN 算法检测的目标边缘点集所构建的凸包初始化 GVF Snakes 轮廓线, 实现模型自动化; 2) 局部修正图像边缘处的 GVF 场强, 提高模型定位精度; 3) 整体衰减靠近边缘位置处的 GVF 场强, 而增

强远离边缘处的 GVF 场强, 提高模型效率, 对 GVF Snakes 模型进行改进(以下将本文的改进模型简称为改进 GVF 的自动 Snakes 模型)。模型如图 2 所示。

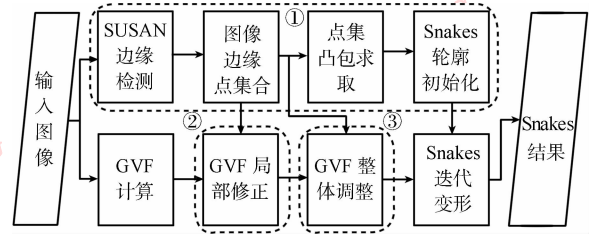


图 2 改进 GVF 的自动 Snakes 模型

Fig. 2 Improved GVF-based automatic Snakes model

2.1 自动初始化 GVF Snakes 轮廓线

GVF Snakes 模型是一种半自动图像处理方法, 需要人工初始化模型轮廓线; 并且轮廓线初始化的好坏关系到算法效率和最终处理结果。因此初始化是 GVF Snakes 模型的一个关键。在以往研究^[9-10]中, 常以人机交互的方式初始化模型轮廓线。这样虽然解决了轮廓线的初始化问题, 但却限制了 GVF Snakes 模型在自动化处理中的应用。针对该问题, 本文提出了如下的 GVF Snakes 轮廓自动初始化方法: 1) 运用 SUSAN 边缘检测算法, 获取物体边缘点; 2) 求取边缘点集的凸包多边形(convex hull); 3) 以凸包作为模型的初始化轮廓线, 进行 GVF Snakes 变形。

SUSAN 算子^[11]是 1997 年 Smith 和 Brady 提出的用于检测图像边缘的方法, 其通过计算每个像元的 USAN 值作为该像元是否为边缘点的判别特征。由于 SUSAN 算法相对传统边缘检测算法(Robert, Prewitt, Gauss-Laplace)具有边缘检测效果好、抗噪能力强、运算量小的优良特性, 本文选取 SUSAN 算法检测图像边缘, 得到边缘点集合。有关 SUSAN 算法的原理和实现, 可参见文献[12-15]。

以 SUSAN 算法所检测的边缘点集的凸包多边形作为 GVF Snakes 初始化轮廓线。点集凸包多边形求取算法可参见文献[16-19], 本文不做分析。

2.2 局部修正 GVF 场强

由 GVF 局限性分析可知, 只有当图像边缘处的 GVF 强度为零时, 模型轮廓线才会在外力作用下趋近图像的最优边缘; 否则, GVF Snakes 模型的势平衡条件将引导模型轮廓线偏离真正的图像边缘。因此, 本文尝试对目标边缘处 GVF 场强进行局部修正, 以使模型轮廓线定位到真正的图像边缘。首先, 利用图像 SUSAN 边缘检测结果, 提取图像的边缘

线;然后,将边缘线处的 GVF 场强置零,即得到局部改进的 GVF。其调整方法如下:

$$\mathbf{V}_{\text{GVF}} = \begin{cases} \mathbf{0} & p(i,j) \in \text{edge} \\ \mathbf{V}_{\text{GVF}} & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

需要说明的是,SUSAN 算法会检测到图像虚假边缘,上述改进方法也会将虚假边缘处的场强置零;但是由于 GVF Snakes 模型本身所具有的上层知识和全局特性,故模型能够越过这些虚假边缘,最终逼近最优边缘。

2.3 整体调整 GVF 场强

由 GVF 的构建过程和对 GVF 场强分布的分析(如图 1(c)所示)得知,在距离图像边缘较近处的 GVF 场强较强,而在距离图像边缘较远处的 GVF 场强较弱。即像元点对应的 GVF 场强反映像元距离图像边缘的远近。基于 1.2 节所分析的模型迭代变形对场强分布的要求,本文将对 GVF 场强进行整体调整:衰减图像边缘附近的 GVF 场强,而增强远离图像边缘的 GVF 场强。其调整如下:

$$\mathbf{V}_{\text{GVF}}^m = f(\mathbf{V}_{\text{GVF}}) \quad (10)$$

式中, i,j 为坐标位置; \mathbf{V}_{GVF} 为原始 GVF; $\mathbf{V}_{\text{GVF}}^m$ 为修正后的 GVF; f 为修正函数。

修正函数要实现场强峰值的衰减和谷值的增强,一般可取单调递减函数,如线性减函数、抛物线的下降段、反 Sigma 函数等。本文算法实现中,修正函数选取线性减函数的平方,即

$$f(\mathbf{v}) = \mathbf{v} * (1 - \|\mathbf{v}\|)^2 \quad (11)$$

需要说明的是,在 GVF Snakes 的实现^[20]中,Xu 也利用归一化场强的方法修正 GVF(以下将其简称为归一化 GVF Snakes 模型,并参与后续的实验对比分析)来提高模型的效率。虽然归一化方法增强了远离边缘处 GVF 场强,减少了迭代次数,提高了模型效率;但未从整体的角度对 GVF 场强的分布进行调整,也没有对边缘处的场强进行局部修正;归一化 GVF 依然不符合模型迭代变形机制的需要。并且,归一化方法也扰乱了边缘附近场强的有序分布,降低了 Snakes 轮廓线的边缘定位精度。

3 实验结果与分析

为验证本文的改进 GVF Snakes 模型的自动化、效率高和定位精度高的特性,分别对合成图像和实际图像进行图像分割实验,并将结果同原

始 GVF Snakes 模型和归一化 GVF Snakes 模型的结果进行比较分析。实验数据如图 3 所示。

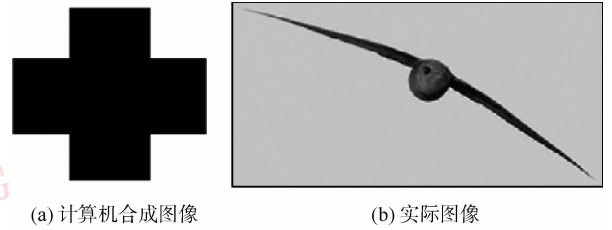


图 3 实验图像

Fig. 3 Images for experiments

首先,使用 SUSAN 算法(算法参数设置:灰度容差设为 20,USAN 判别阈值设为 $3n_{\text{max}}/4$ (n_{max} 为模板中最大的 USAN 特征值),选取 5×5 的圆形模板),检测图像的边缘点,然后计算边缘点集的凸包多边形,以凸包作为模型的初始轮廓线。图 4 展示了本文提出的 GVF Snakes 模型自动初始化实验图像轮廓线的效果,其中虚线线条为轮廓线的初始化结果。自动初始化轮廓线较好地符合了物体的形状特点,大致分布在物体边缘附近,实现了轮廓线的自动初始化。

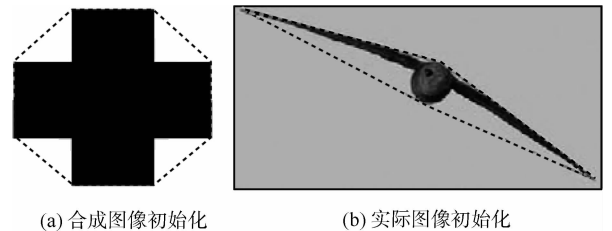


图 4 GVF Snakes 模型初始化

Fig. 4 Initialization of GVF Snakes

然后,依次利用式(9)(11)对 GVF 进行局部修正和整体调整;并利用上述 3 种模型(均采用轮廓线自动初始化方法)对初始化轮廓线进行迭代变形计算,实验结果如图 5、图 6 所示。在每组实验中,都尝试调整模型参数值(如弹性权重、弯曲权重、噪声参数、外力权重,迭代插值阈值等),以使原始 GVF Snakes 模型、归一化 GVF Snakes 模型和本文的 Snakes 模型逼近图像的最优边缘,达到最好的分割效果(但保持每组实验中 3 种模型的各个参数值相同)。

图 5 展示原始 GVF Snakes 模型、归一化 GVF Snakes 模型和本文的 Snakes 模型分割合成图像的结果。其中,图 5(a)~(c)分别展示了原始 GVF 外

力场、归一化 GVF 外力场和改进的 GVF 外力场,图 5(d)–(f)分别展示了图 5(a)–(c)中红框区域的局部放大,图 5(g)–(j)分别展示了原始 GVF Snakes 模型、归一化 GVF Snakes 模型和本文模型迭代变形 100 次后的结果(背景为 SUSAN 算子提取的边缘线)。对比图 5(a)(c),改进的 GVF 外力场进一步扩大了模型的捕获范围;对比图 5(d)(f),改进的 GVF 增强了远离边缘位置的场强,提高模型在远离边缘时的变形效率,而衰减了靠近边缘位置的场强,提高模型在边缘附近的定位精度,场强分布更加

符合 GVF Snakes 模型的迭代变形逼近最优边缘的特点;对比图 5(e)(f),改进的 GVF 相对于归一化 GVF,其场强分布更加有序、合理,可以避免在靠近边缘位置时,Snakes 轮廓控制点单步迭代位置变化过大,而不断振荡,难以趋近最优边缘的不足,从而提高边缘定位精度;对比图 5(g)(i),本文模型相对原始 GVF Snakes 模型具有更高的效率;对比图 5(h)(i),本文模型相对归一化 GVF Snakes 模型,在图像边缘(尤其是角点)位置具有更高的定位精度,更能准确地描述图像角点。

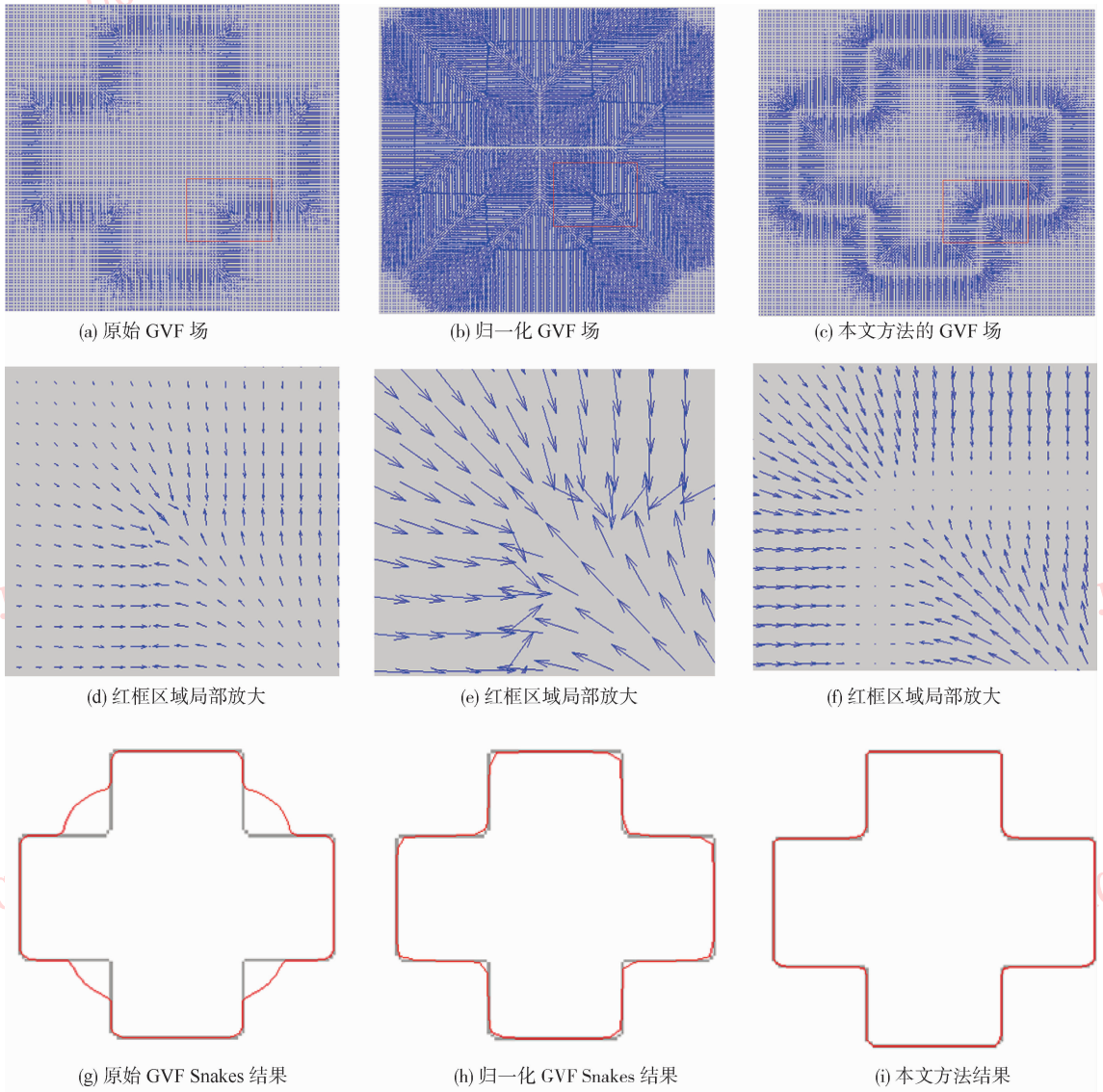


图 5 合成图像的实验效果
Fig.5 Experiments on synthetic image

图 6 展示了原始 GVF Snakes 模型、归一化 GVF Snakes 模型和本文的 Snakes 模型分割实际图像的结果。其中,图 6(a)(c)(e)分别展示了原始 GVF Snakes 模型、归一化 GVF Snakes 模型和本文模型迭

结果。其中,图 6(a)(c)(e)分别展示了原始 GVF Snakes 模型、归一化 GVF Snakes 模型和本文模型迭



图6 实际图像的实验结果

Fig. 6 Experiments on natural image

代变形 100 次的结果同原图相互叠加显示的效果,图 6(b)(d)(f) 分别对图 6(a)(c)(e) 分割结果的翼尖部位进行局部放大显示的效果。对比图 6(a)(e), 本文模型较 GVF Snakes 模型逼近图像边缘的速度更快,模型效率更高;对比图 6(b)(f), 本文模型较 GVF Snakes 模型具有更强的捕获尖锐角点的能力,其检测细边缘、弱边缘的能力更强;对比图 6(d)(f), 虽然归一化 GVF Snakes 模型也检测出翼尖处的细边缘、弱边缘,但其却失去了面状形态,而表现为一条线,而本文的 Snakes 模型却很好地检测并表达了翼尖处的细边缘和面状特点。

采用同上述实验相同的方法和参数设置,对字符图像进行图像分割实验,效果如图 7 所示。图 7(a)为自动初始化轮廓线的结果。对比分析图 7(b)—(d),进一步表明本文改进 GVF 的自动 Snakes 模型计算效率高和对角点较高定位精度的特点。

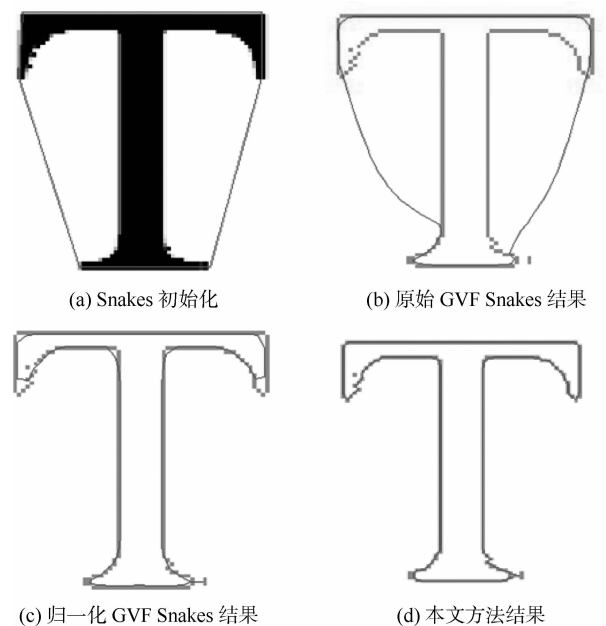


图7 字符图像的实验结果

Fig. 7 Experiment results on image about character

4 结 论

本文在分析原始 GVF 场强分布局限性的基础上,针对 GVF 在边缘处场强非零所导致边缘定位精度低和场强分布同迭代变形机制相违背所导致计算效率低的问题,提出一种改进 GVF 的自动 Snakes 模型。就模型轮廓线的自动初始化问题,采用了求取图像边缘点的外包凸多边形,作为 Snakes 初始化轮廓的方法;就模型计算效率低和边缘定位精度低的问题,从局部和整体依次对 GVF 进行修正和调整。从实验效果看,改进模型实现了 GVF Snakes 模型轮廓自动初始化,并提高了模型对图像细边缘、尖锐角点的表达能力和模型的计算效率。

但本文的方法还存在以下的不足和需要改进的地方:1) 边缘点的凸外包无法反映目标的凹边缘,从而导致模型在凹边缘处变形较慢,迭代次数增多,效率降低,下一步将尝试使用目标的最小外包多边形初始化 GVF Snakes 轮廓;2) 对 GVF 场强分布的整体调整,仍需要进一步的实验和分析,使其更加符合模型迭代变形的特点,提高模型的效率和精度。

参考文献 (References)

[1] Kass M, Witkin M, Terzopoulos D. Snakes: active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(4): 321-331.

[2] Li T Q, Zhang Y, Liu Z, et al. An overview on Snakes models [J]. Computer Engineering, 2005, 31(9): 1-3. [李天庆, 张毅, 刘志, 等. Snake 模型综述[J]. 计算机工程, 2005, 31(9): 1-3.]

[3] Amini A A, Tehrani S, Weymouth T E. Using dynamic programming for minimizing the energy of active contours in the presence of hard constraints [C]// Proc. Second International Conference on Computer Vision. Tarpon Springs, Florida, USA: IEEE Computer Society, 1988: 95-99.

[4] Cohen L D. On active contour models and balloons [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1991, 53(2): 211-218.

[5] Snakes, shapes, and gradient vector flow [EB/OL]. [2010-12-23]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=661186.

[6] Terzopoulos D. On matching deformable models to images [C]// Topical Meeting in Machine Vision. Incline Village, Nevada:

Optical Society of America, 1987, 12: 160-163.

[7] Osher S, Rudin L. Feature-oriented image enhancement using shock filters [J]. SIAM J. Num. Analysis, 1990, 27(4): 919-940.

[8] Wang Y, Zhang J W, Chen Y J, et al. New GVF model based on non-linear diffusion [J]. Computer Engineering, 2010, 36(4): 215-217. [王宇, 张建伟, 陈允杰, 等. 一种新的基于各向异性扩散的 GVF 模型[J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 215-217.]

[9] Lin Y, Tian J, He H G. An interactive segmentation method for medical texture images [J]. Journal of Software, 2002, 13(4): 1-6. [林瑶, 田捷, 何晖光. 一种交互式的医学纹理图像分割方法[J]. 软件学报, 2002, 13(4): 1-6.]

[10] Chen W G. Gradient vector flow using an implicit method [J]. International Journal of Information Technology, 2006, 12(2): 14-23.

[11] Smith S M, Brady J M. SUSAN—a new approach to low level image processing [J]. Int. Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.

[12] SUSAN Low Level Image Processing [EB/OL]. [2010-12-23]. <http://users.fmrib.ox.ac.uk/~steve/susan/>.

[13] SUSAN边缘检测算法性能分析与比较 [EB/OL]. [2010-12-23]. <http://www.dzsc.com/data/html/2007-6-19/41849.html>.

[14] Veni G, Regentova E E, Zhang L. Detection of clustered microcalcifications with SUSAN edge detector, adaptive contrast thresholding and spatial filters [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2008, 5112(2008): 837-843.

[15] Analysis of the SUSAN Edge Detector [EB/OL]. [2010-12-23]. <http://users.fmrib.ox.ac.uk/~steve/susan/susan/node7.html>.

[16] Ye L, Zhao J S. A quick algorithm to determine convex hull for a point set in GIS [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2004, 33(4): 319-322. [叶绿, 赵家森. GIS 中点集凸包的快速算法[J]. 测绘学报, 2004, 33(4): 319-322.]

[17] Li J H, Li Z Y. A quick algorithm and programming to determine convex hull for planar scattered point set in GIS [J]. Journal of Beijing Union University (Natural Sciences), 2009, 23(3): 32-34. [李军辉, 李紫阳. GIS 中散乱点集凸包的快速算法及编程[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2009, 23(3): 32-34.]

[18] Convex hull [EB/OL]. [2010-12-23]. <http://mathworld.wolfram.com/ConvexHull.html>.

[19] Wang J C. Study of optimizing method for algorithm of minimum convex closure building for 2D spatial data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31(1): 82-86. [王杰臣. 2 维空间数据最小凸包生成算法优化[J]. 测绘学报, 2002, 31(1): 82-86.]

[20] Xu C Y, Jerry L Prince. Active Contours, Deformable Models, and Gradient Vector Flow [EB/OL]. [2010-12-23]. <http://www.iacl.ece.jhu.edu/static/gvf/>.