

基于改进 GAC 模型的钢丝绳图像检测方法

刘 剑,赵 悦,韦松伯

(沈阳建筑大学信息与控制工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 针对测地线活动轮廓模型易受初始位置选择限制,处理弱边缘效果较差的问题,提出一种改进测地线活动轮廓模型. 方法 首先,将局部二元拟合的能量函数中引入图像的局部和全局方差信息,避免其在处理复杂图像时易陷入局部最小值;其次对该能量函数进行归一化处理,代替原来测地线活动轮廓模型的边缘停止函数;最后,驱使轮廓曲线运动到钢丝绳图像中的损坏区域的边缘处. 结果 改进后的模型能够有效地分割出钢丝绳图像中的轮廓和损坏边缘,以人机交互的形式提取轮廓部分和损坏部分,计算相应的面积,获得缺损度,实现钢丝绳的故障检测. 结论 笔者所提出的改进 GAC 模型可以简单、便捷的检测出钢丝绳故障缺损度,同时也证明了该模型在解决钢丝绳图像检测问题时具有较高的精度.

关键词 钢丝绳;图像分割;测地线活动轮廓模型;局部二元拟合

中图分类号 TP277.3

文献标志码 A

Elevator Wire Rope Image Detection Method Based on Improved GAC Model

LIU Jian, ZHAO Yue, WEI Songbo

(School of Information and Control Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: The Geodesic Active Contour Model is easy to be restricted by the initial curve position and poor treatment of the weak edge effect. In this paper, we propose an improved Geodesic Active Contour Model. Firstly, the local information and the global variance information of the image is introduced into the energy functional of the Local Binary Fitting Model to avoid the local minimum value when dealing with the complex images. Secondly, the energy function is normalized, and replaces the edge stopping function of the Geodesic Active Contour Model. Lastly, it drives the contour curve moving to separate the edge of the wire rope in the image. The experiment results show that the improved model can effectively separate the edge of the contour of the wire rope and the damaged area. In the form of man-machine interaction to extract the contour of the wire rope and the damaged part, calculate the corresponding area, to obtain the defect degree, to achieve the fault detection of wire rope. The improved GAC model can simple and convenient detect wire rope

收稿日期:2015-06-25

基金项目:国家自然科学基金项目(610272253);辽宁省自然科学基金项目(201602616);辽宁省教育厅科学研究项目(L2015443);住房和城乡建设部科技攻关项目(2015-K2-015)

作者简介:刘剑(1963—),女,教授,博士,主要从事视觉图像、智能控制方面研究.

fault, and it is proved that the model has better segmentation accuracy in solving wire rope image detection problems.

Key words: wire rope; image segmentation; geodesic active contour model; local binary fitting model

钢丝绳作为提升、起重、运输设备中重要的构件,被认为是诸多工业领域中的“生命线”。尽管电梯系统中安装了许多相应的安全部件来确保断绳时轿厢里人员的安全,但是如果平时多注意钢丝绳的变化,做好日常的检验工作,及时更换有损伤的钢丝绳,就能减少很多不必要发生的事故^[1-4]。近些年,研究者提出了不同的钢丝绳检测方法,如王红光等^[5]基于有限元分析的矿用钢丝绳聚磁检测方法,制作钢丝绳的材料具有导电性、磁性。通过磁图可判断钢丝绳的表面和内部中腐蚀、断丝和损伤程度。该检测技术缺点在于磁图产生的分析结果是不唯一的,对于表面局部损伤的检测容易产生误差,此外检测设备复杂且较昂贵。张燕超等^[6]基于 X 射线数字成像技术的钢丝绳检测系统,利用 X 射线获取钢丝绳表面图像,分析其图像,判断其损伤的位置,该检测技术缺点在于检测设备成本高,对环境的要求苛刻。袁方等^[7]提出了声发射-超声相结合的方法检测钢丝绳强度,该检测技术缺点在于检测仪器费用高、缺少实际应用。曹青松等^[8]采用了一种钢丝绳断丝无损定量检测方法,同样也是利用钢丝绳的材料具有导电性,将钢丝绳通电,利用其导电原理,钢丝绳内部产生电涡流效应,该检测技术缺点在于检测分辨率低、无法判别内部损伤、设备结构较复杂。

图像处理技术具有快速性、准确性、客观性等优点,使用图像处理技术代替人眼视觉对损伤信息进行实时准确地识别成为了可能。基于数字图像处理技术包括:图像预处理、图像分割、特征提取等主要步骤^[9]。分割效果直接影响到后续的图像分析与处理,所以分割时图像处理中的步骤之一^[10]。基于边

缘的主动轮廓模型^[11-13]作为这一领域中的重要工具之一,已经得到了广泛的关注和研究,其原理是根据图像边界的梯度变化程度决定轮廓曲线演化速度,在边界梯度变化强度相对较强的区域,其演化的速度较慢;在边界梯度变化强度相对较弱的区域,其演化的速度较快;最终使轮廓能够在目标的边界处停止演化。测地线轮廓模型(Geodesic Active Contour Model, GAC 模型)是经典的基于边缘的活动轮廓模型,它有两个关键部分:一个是调整项,该项决定了轮廓的形状的演化;一个是边缘停止函数,决定轮廓朝目标的边界演化。这种模型对初始轮廓位置的选择具有较强的依赖性,对弱边缘处理效果较差。基于此,笔者提出了一种基于改进 GAC 模型(I-GAC 模型)的检测方法,通过 CCD 技术获取钢丝绳图像,将图像的局部信息方差和全局方差信息引入到局部二元拟合(LBF)的能量函数中,再对该能量函数进行归一化处理,最后对缺陷区域进行提取、二值化、计算得到最终的钢丝绳故障缺损度。仿真实验结果表明,与 GAC 模型、基于 LBF 方法的测地线活动轮廓模型(LBF 模型)相比, I-GAC 模型避免了图像的欠分割、过分割,可以简单、准确地检测出钢丝绳故障缺损度。

1 GAC 及 LBF 模型

1.1 GAC 模型

GAC 模型是一种基于边缘的活动轮廓模型^[14],是由 Caselles 和 Morel 将曲线演化和水平集方法结合起来,该模型的能量函数表达式如下:

$$E^{\text{GAC}}(C(p)) = \int_0^L g(|\nabla I(C(s))|) ds. \quad (1)$$

式中: L 为闭合曲线 $C(p)$ 的弧长; s 为 Eu-

clidean 弧长; ∇ 为梯度算子; $g(\cdot)$ 为边缘停止函数.

$$g = \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma * I|}. \quad (2)$$

式中: G_σ 表示方差为 σ 的高斯核; $|\nabla G_\sigma * I|$ 表示平滑后的梯度模值; $*$ 表示卷积.

GAC模型可分割图像的任意目标,但分割效果的好坏受到初始曲线位置选择限制.由于它过于依靠图像中边缘的梯度信息,当图像中存在弱边界时,边缘停止函数容易受到影响,使得轮廓曲线的梯度下降流发生改变,产生欠分割.

1.2 LBF模型

LBF模型是一种基于区域可扩展性的能量拟合模型^[15].它引入了一个高斯函数决定所拟合灰度值区域的范围.当演化曲线 C 达到目标边界且拟合的灰度值近似于区域曲线内外灰度值时,拟合能量为最小值.因此要得到全部边界,要图像中的拟合能量达到最小值.对任意像素点 $x, x \in \Omega$,其能量函数表达式为

$$E_x^{\text{LBF}}(\phi, f_1(x), f_2(x)) = \lambda_1 \int_{\Omega_1} K_\sigma(x-y) |I(y) - f_1(x)|^2 H(\phi) dy + \lambda_2 \int_{\Omega_2} K_\sigma(x-y) |I(y) - f_2(x)|^2 (1 - H(\phi)) dy. \quad (3)$$

式中: λ_1 和 λ_2 为正整数; $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 为像元点 x 在区域内 Ω_1 和区域外 Ω_2 的灰度拟合值; $H(\phi)$ 为Heaviside函数; $K_\sigma(x-y)$ 表示方差为 σ 的高斯核函数.

$$k_\sigma(x-y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-y)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (4)$$

LBF模型是求取全局最小的能量函数,能够分割图像中弱边界及无边界的目標,不受初始曲线位置选择的限制.该模型的高斯核函数能够获得图像的灰度变化信息,较准确的分割灰度不均匀的图像.但是当图像较为复杂时,实际目标和背景的误差平方和是局部最小而不是全局最小.因此该模型的能量函数不能够准确的描述较为复杂图像的目标和背景的特征,导致过分割.

2 I-GAC模型

2.1 模型的构建

GAC模型的能量函数为局部极小值,可分割图像的任意目标,但它易受曲线的初始位置和弱边界的影响,产生欠分割^[16-17].LBF模型的目标能量函数是全局最小值,但是当图像较为复杂时,实际目标和背景的误差平方和是局部最小而不是全局最小.因此该模型的能量函数不能够准确的描述较为复杂图像的目标和背景的特征,导致过分割.

笔者结合GAC模型和LBF模型的特点,构建了I-GAC模型,并提出一种基于I-GAC模型的检测方法.首先在LBF模型的能量函数中引入图像的局部信息方差和全局方差信息,提高其处理复杂图像的能力避免陷入局部最小;再将该能量函数进行归一化,用它代替GAC模型的边缘停止函数;建立对应的梯度下降流,驱动轮廓曲线进行移动,对图像进行分割.

引入图像的局部方差信息和全局方差信息的LBF能量函数表达式为

$$E_x^{\text{LBF}}(\phi, f_1(x), f_2(x)) = \lambda_1 \int_{\Omega_1} K_\sigma(x-y) |I(y) - f_1(x)|^2 H(\phi) dy + \lambda_2 \int_{\Omega_2} K_\sigma(x-y) |I(y) - f_2(x)|^2 (1 - H(\phi)) dy + \lambda_3 (\sigma_1 - \sigma(x)) + \lambda_4 (\sigma_1 - \sigma(x)). \quad (5)$$

式中: $\sigma(x)$ 为局部方差,以当前像元点 x 为中心,取 3×3 大小的窗口作为像元点的领域范围,其表达式为

$$\sigma(x) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}. \quad (6)$$

式中: n 为当前像元点 x 领域的像元个数, x_i 为窗口中各像元点的灰度值, \bar{x} 为该领域的灰度均值. $\sigma_1(x)$ 为曲线内部方差,表达式为

$$\sigma_1(x) = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n_1}. \quad (7)$$

式中: x_i 为轮廓曲线内部像元点的灰度值; n_1 为演化曲线内部像元点的个数; \bar{x} 为轮廓曲线内部像元点的灰度值.曲线外部方差

$\sigma_2(x)$ 与 $\sigma_1(x)$ 类似.

对任意像元点 x 的 LBF 能量函数 E_x^{LBF} 进行归一化,得到 GAC 模型的边缘停止函数:

$$F_x^{\text{LBF}} = \frac{E_x^{\text{LBF}}}{\max\{E_x^{\text{LBF}}\}}. \quad (8)$$

由式(8)可知: $E_x^{\text{LBF}} \geq 0$, 则 $F_x^{\text{LBF}} \geq 0$. 轮廓曲线处于图像目标和背景的边界时,能量函数 E_x^{LBF} 最小,边缘停止函数 F_x^{LBF} 也是最小;轮廓曲线远离目标和背景边界时,能量函数 E_x^{LBF} 不是全局最小,边缘停止函数 F_x^{LBF} 也不是全局最小.

将边缘停止函数 F_x^{LBF} 带入 GAC 模型的能量函数中,得到梯度下降流:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = F_x^{\text{LBF}} k N - (\nabla F_x^{\text{LBF}} N) \cdot N. \quad (9)$$

式中: ∇F_x^{LBF} 为 F_x^{LBF} 的梯度,其方向总是指向 F_x^{LBF} 增大的且远离边界的方向; k 为轮廓曲线的曲率; N 为轮廓曲线的单位法向量,其方向总是指向曲线的内部. 上式的第一项 $F_x^{\text{LBF}} k N$ 促使轮廓曲线进行运动. 由于 $F_x^{\text{LBF}} \geq 0$, 在曲率 k 为正的局部,轮廓曲线向内部收缩;在曲率 k 为负的局部,轮廓曲线向外部扩张. 当 $F_x^{\text{LBF}} = 0$, 即轮廓曲线停止在目标和背景的边界上, $F_x^{\text{LBF}} k N$ 失去作用.

经过水平集方法^[18]处理后,得到则相应的嵌入函数 ϕ 的梯度下降流为

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F_x^{\text{LBF}} k |\nabla \phi| - (\nabla F_x^{\text{LBF}} \nabla \phi) \cdot \nabla \phi. \quad (10)$$

其中: $|\nabla \phi| = 1$.

2.2 I-GAC 模型的算法实现

I-GAC 模型的算法流程^[19]:

Step 1 嵌入函数 ϕ 初始化,将图像分为区域 Ω_1 和区域 Ω_2 , 当 $\phi = 0$ 时,位于图像的边界上;

Step 2 计算图像的局部信息方差、全局方差信息、嵌入函数 ϕ 的 Heaviside 函数,进一步计算式(8)中的 F_x^{LBF} ;

Step 3 通过式(10)计算的嵌入函数 ϕ

的梯度下降流,驱动轮廓曲线运动;

Step 4 将嵌入函数进行高斯卷积,光滑曲线;

Step 5 判断嵌入函数 ϕ 是否区域收敛,如果收敛,算法结束,得出目标与背景的边界(嵌入函数 ϕ 为 0 的像素点);如果不收敛,返回 Step 2 继续.

对应的算法流程图如图 1 所示.

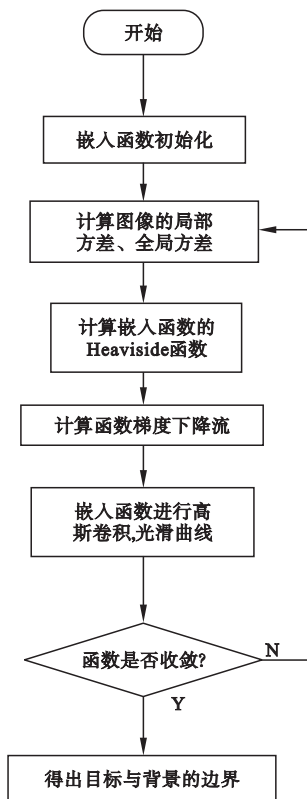


图 1 I-GAC 模型的流程图

Fig. 1 Flow chart of I-GAC model

3 实验仿真及分析

笔者用 Matlab 2010 软件进行仿真,在 Intel (R) Core A (TM) i5 - 3470 CPU, 3.20GHz, 4G 内存的 PC 机上实现,钢丝绳图像像素为 512×512 . 实验参数设置如下:高斯核函数的参数 $\sigma = 3$, $\varepsilon = 1$, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$ 迭代次数 50 次. 选取两种常见的钢丝绳表层损坏图像,图 2(a) 为钢丝绳的表层断裂,图 2(b) 为钢丝绳的表层磨损,分别通过

GAC模型,LBF模型及I-GAC模型对图像进行分割对比,分割前进行去噪预处理.模型的分割结果如图3、图4所示.

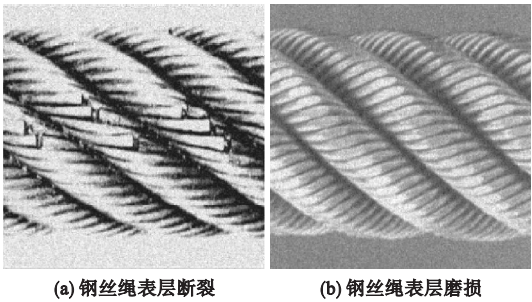


图2 钢丝绳原图
Fig.2 The initial image of rope

对于钢丝绳表层断裂图片分割结果进行比较可以看出,GAC模型能够分割图像的任何目标,但是容易受到初始轮廓位置和弱边界的影响造成产生误分割.图4(d)中,GAC模型不能较处理好明暗交界处的边缘,分割线有的准确的位于边缘处,有的却离边缘处较远;在分割断裂区域,GAC模型只是模糊的将断裂区域包围起来,没有做到准确的分割,而且出现了分割边缘断裂的问题.而笔者所提的I-GAC模型可以较好地处理明暗交界的边缘,使分割较准确的贴近边缘,并将钢丝绳磨损区域准确地分割出来,每一个断裂区域都被独立的包围起来,没有出现区域合

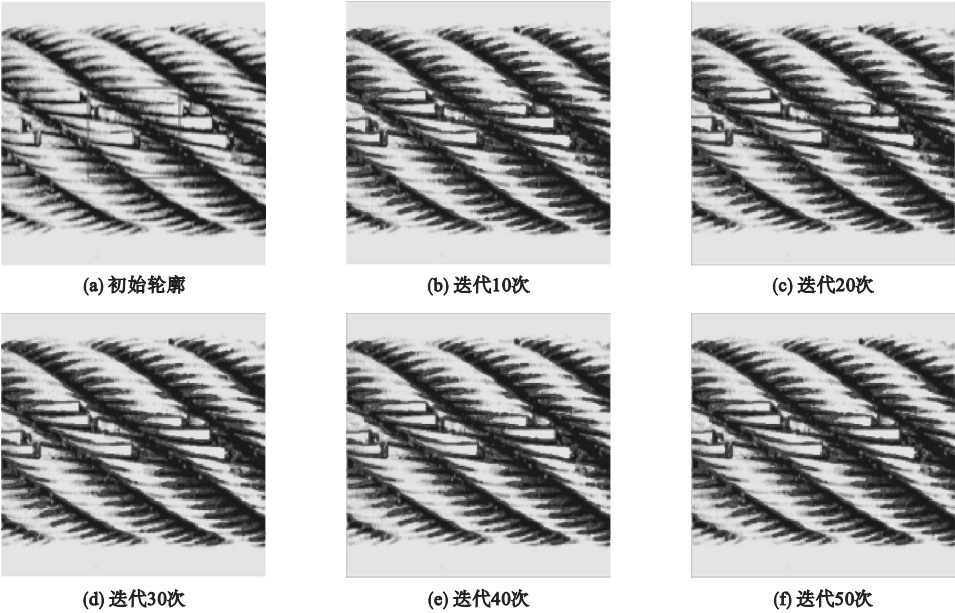


图3 I-GAC模型分割结果(钢丝绳表层断裂)

并及边缘断裂等问题(见图4(f)). LBF模型的能量函数不能够较准确描述复杂图像的目标与背景特征,造成误分割(见图4(e)),在分割图像中的边缘时,多出了许多不存在边缘的分割线,使得分割后图像画面非常的乱,不利于后续的图像分析,而I-GAC模型却不存在这种误分割缺陷的情况.

采用I-GAC模型对钢丝绳表层磨损的原图进行分割处理,如图5所示.三种模型的

分析结果对比如图6所示. 同样,对于钢丝绳表层磨损图片分割结果进行比较可以看出,GAC模型没能准确的分割出磨损区域的边缘(见图6(d)). LBF模型虽然分割的准确性较GAC模型高些,但是依然出现了误分割的缺陷(见图6(e)). I-GAC模型避免了GAC模型和LBF模型的缺陷,较准确的分割出钢丝绳磨损区域的边界,将磨损区包围起来(见图6(f)).

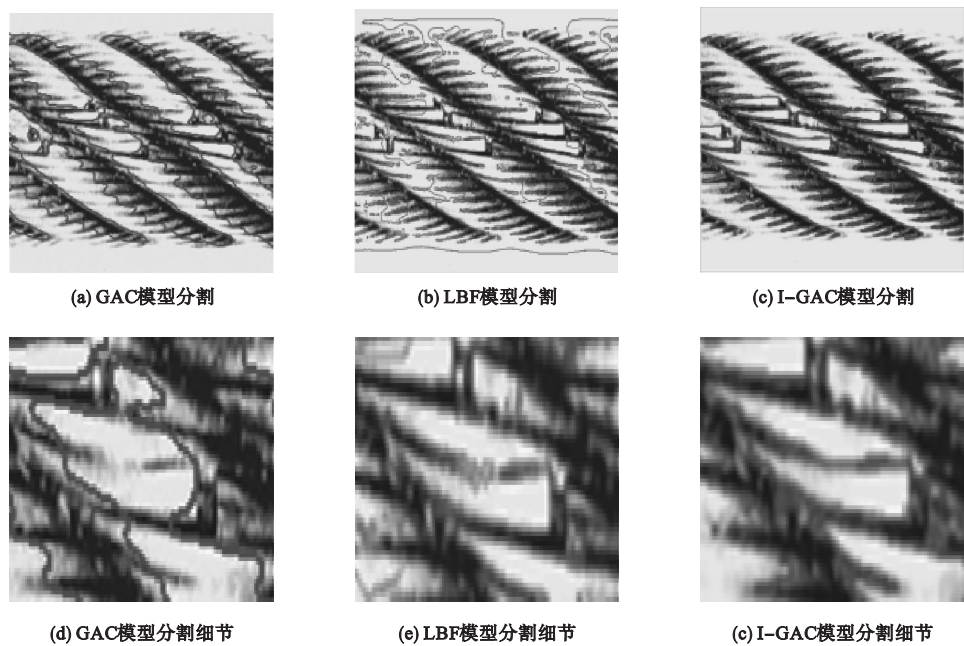


图 4 三种模型的分割结果(钢丝绳表层断裂)

Fig. 4 The segmentation result of three models(rope surface fracture)

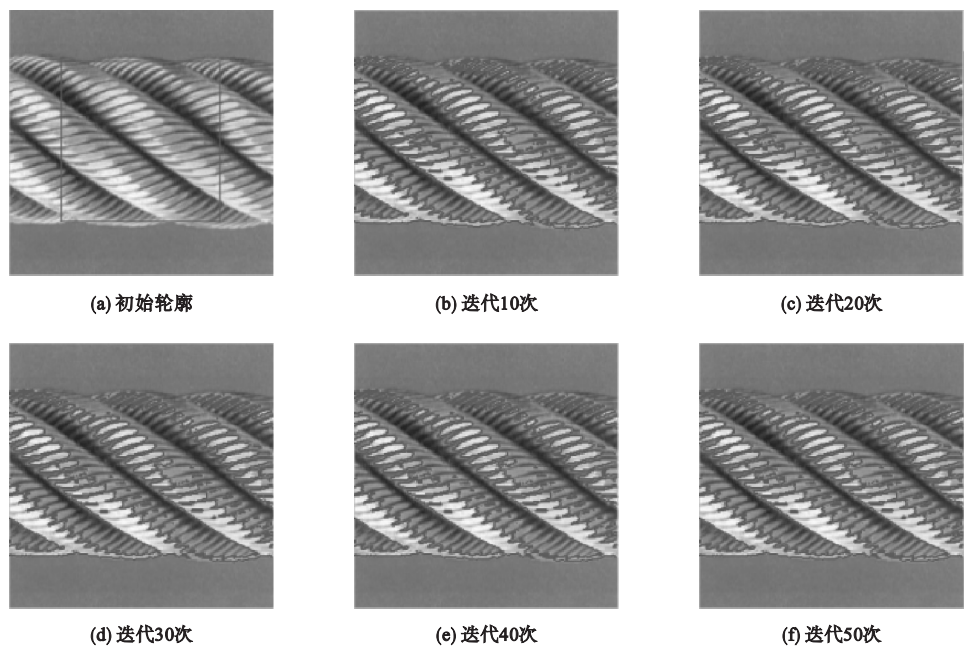


图 5 I - GAC 模型分割结果(钢丝绳表层磨损)

Fig. 5 The segmentation result of I-GAC model(rope surface abrasion)

为了更直接显示分割效果的好坏,笔者采用了 DSC 指标^[20] 将分割效果进行量化。 DSC 指标的定义如下:

$$DSC = \frac{2N(S_1 \cap S_2)}{N(S_1) + N(S_2)}.$$

(13)

式中: S_1 和 S_2 分别代表分割结果和真实结果, $N(\cdot)$ 为像元的数量. DSC 的值接近 1, 这表明分割精度高,对三种模型的分割精度如表 1 所示.

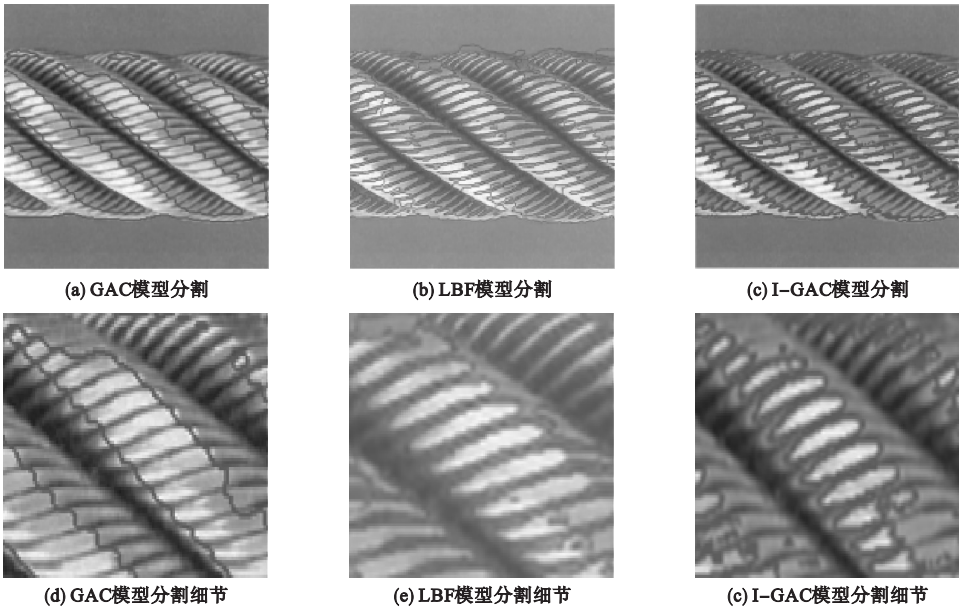


图6 三种模型的分割结果(钢丝绳表层磨损)

Fig. 6 The segmentation result of three models(rope surface abrasion)

表1 三种模型的分割精度

Table 1 The segmentation accuracy of three models

图像损坏区域	分割精度/%		
	GAC 模型	LBF 模型	I - GAC 模型
表层断裂	75.822	78.805	82.106
表层磨损	73.762	76.210	80.615

由表1可知:在分割断裂区域时,GAC模型的分割精度为75.822%,LBF模型的分割精度为78.805%,I-GAC模型的分割精度为82.106%.在分割磨损区域时,GAC模型的分割精度为73.762%,LBF模型的分割精度为76.210%,I-GAC模型的分割精度为80.615%.笔者提出I-GAC模型比GAC模型,LBF模型更准确.

运用I-GAC模型对几种形变损坏进行了分割.图7所示为电梯钢丝绳绳芯挤出图

像的分割结果,图8所示为电梯钢丝绳笼状畸变图像的分割结果,图9所示为电梯钢丝绳弯折图像的分割结果,图10所示为电梯钢丝绳钢丝挤出图像的分割结果.通过对电梯钢丝绳多种形变损坏图像的分割结果可以得出,I-GAC模型通过增加迭代次数能够有效的分割出其形变边缘.综上所述,在解决钢丝绳损坏图片分割问题时,I-GAC模型具有普遍适用性和更高的分割精度.

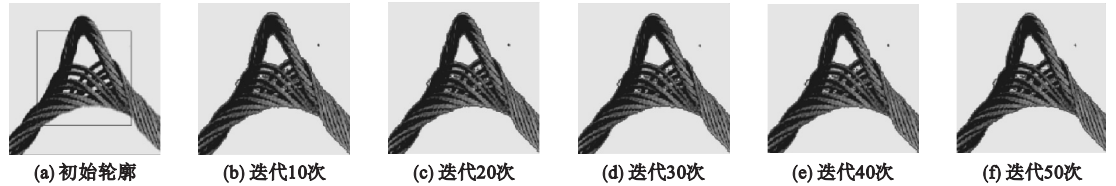


图7 绳芯挤出图像的分割结果

Fig. 7 The segmentation result of inner rope extrusion image

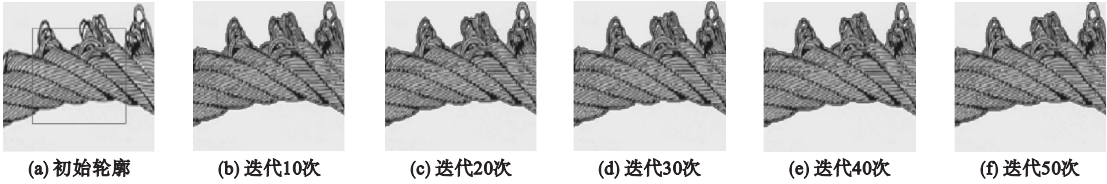


图 8 笼状畸变图像的分割结果

Fig. 8 The segmentation result of cage-shaped distortion picture

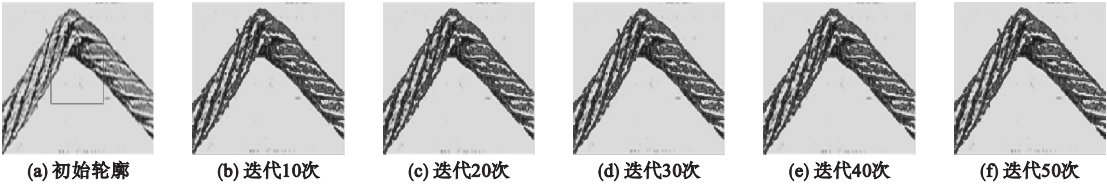


图 9 弯折图像的分割结果

Fig. 9 The segmentation result of bend picture

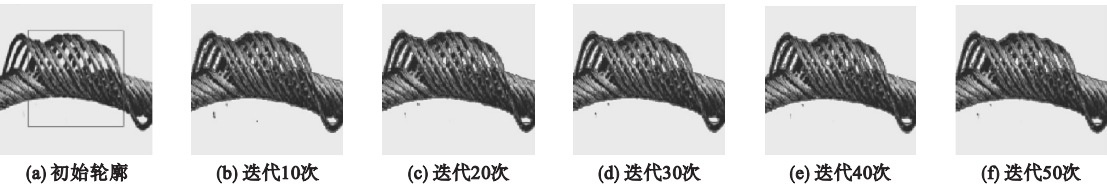


图 10 钢丝绳挤出图像的分割结果

Fig. 10 The segmentation result of wire rope distortion picture

4 结 论

(1)对比钢丝绳表层磨损和断裂图片分割结果可知,I-GAC 模型避免了 GAC 模型和 LBF 模型的缺陷,可以较准确的分割出钢丝绳磨损区域的边界以及较好地处理明暗交界的边缘。

(2)通过 3 种模型分割精度对比可得,在解决钢丝绳表层断裂、磨损图片分割问题时,I-GAC 模型比 GAC 模型、LBF 模型分割精度更高,能够有效的分割出其形变边缘。

(3)所提出的改进 GAC 模型可以简单、便捷的检测出钢丝绳故障缺损度,同时也证明了该模型在解决钢丝绳图像检测问题时具有较高的精度。

参考文献

[1] 杜帆,杨兆建. 基于非均匀弦振动的提升机钢丝绳张力测试方法[J]. 煤炭学报,2010,35(5):841-843.
(DU Fan, YANG Zhaojian. Test method of

hoist wire-rope tension based on inhomogeneous chord vibration [J]. Journal of China coal society,2010,35(5):841-843.)
[2] 于克勇,徐文晋. 电梯曳引钢丝绳疲劳寿命研究[J]. 金属制品,2014,40(4):60-65.
(YU Keyong, XU Wenjin. Study on fatigue life of elevator hoist wire rope[J]. Metal products, 2014,40(4):60-65.)
[3] 陈琳. 电梯钢丝绳无损检测技术应用研究 [J]. 机电信息,2011(33):143-147.
(CHEN Lin. Study on non-destructive testing of elevator wire rope technology [J]. Mechanical and electrical information,2011(33):143-147.)
[4] 薛艳梅. 电梯曳引钢丝绳的检验[J]. 工业安全与环保,2009,35(11):36-147.
(XUE Yanmei. Inspection of elevator hoist wire rope [J]. Industrial safety and environmental protection,2009,35(11):36-147.)
[5] 王红尧,田劫. 基于有限元分析的矿用钢丝绳聚磁检测方法[J]. 煤炭学报,2013,38(1):257-260.
(WANG Hongyao, TIAN Jie. Method of magnetic collect detection for coal mine wire rope base on finite element analysis [J]. Journal of China coal society,2013,38(1):257-260.)
[6] 张燕超,徐桂云,崔吉. 基于 X 射线数字成像技术的钢丝绳检测系统[J]. 影像技术,

- 2008(2):33-39.
(ZHANG Yanchao, XU Guiyun, CUI Ji. System used to detect Steel wire rope based on X-ray digital imaging technology[J]. Imaging technology, 2008(2):33-39.)
- [7] 袁方, 胡斌梁, 周知进. 在役钢丝绳缺陷检测方法的研究现状与展望[J]. 机械设计与制造, 2010(2):260-262.
(YUAN Fang, HU Binliang, ZHOU Zhijin. An analysis on the research status quo and prospects of defect detection methods of wire ropes[J]. Machinery design and manufacture, 2010(2):260-262.)
- [8] 曹青松, 刘丹, 周继惠, 等. 一种钢丝绳断丝无损定量检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(4):788-794.
(CAO Qingsong, LIU Dan, ZHOU Jihui, et al. Non-destructive and quantitative detection method for broken wire rope[J]. Chinese journal of scientific instrument, 2011, 32(4):788-794.)
- [9] 沈淦松. FPGA 软硬件协同处理实时图像处理系统[J]. 光电工程, 2012, 39(10):144-150.
(SHEN Gansong. Real-time image processing system using FPGA with hardware software collaborative processing[J]. Opto-electronic engineering, 2012, 39(10):144-150.)
- [10] 刘健, 解辰, 蔺丽华. 基于红外图像的电力变压器油位自动检测方法[J]. 高电压技术, 2010(4):964-970.
(LIU Jian, XIE Chen, LIN Lihua. Automatic detection of oil level of electric power transformers using infrared image[J]. High voltage engineering, 2010(4):964-970.)
- [11] 于晓升. 基于边缘扩散信息拟合的测地线活动轮廓模型[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2015, 36(2):158-170.
(YU Xiaosheng. Geodesic active contour model based on edge diffusion information fitting[J]. Journal of northeastern university(natural science), 2015, 36(2):170-158.)
- [12] 任守纲, 马超, 徐焕良. 基于改进主动轮廓模型的图像分割方法研究[J]. 计算机科学, 2013, 40(7):289-296.
(REN Shougang, MA Chao, XU Huanliang. Improved skeleton extraction algorithm based active contour model research[J]. Computer science, 2013, 40(7):289-296.)
- [13] 尚岩, 峰汪宁, 汪辉. 基于区域能量最小和主动轮廓模型的医学目标提取[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(7):2716-2729.
(SHANG Yan, FENG Wangning, WANG Hui. Medical object extraction model based on regional energy minimization and active contour model[J]. Application research of computers, 2012, 29(7):2729-2716)
- [14] SHAH S, ROSS A. Iris segmentation using geodesic active contours[J]. IEEE transactions on information forensics and security, 2009, 4(4):824-836.
- [15] LI Chunming, KAO C Y, COREJ C, et al. Minimization of region scalable fitting energy for image segmentation[J]. IEEE transactions on image processing, 2008, 17(10):1940-1949.
- [16] 潘改. 基于LBF方法的测地线活动轮廓模型[J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26(12):1180-1184.
(PAN Gai. Geodesic active contour based on LBF method[J]. Pattern recognition and artificial intelligence, 2013, 26(12):1180-1184.)
- [17] ZHANG Kaihua, SONG Huihui, ZHANG Lei. Active contours driven by local image fitting energy[J]. Pattern recognition, 2010, 43(4):1199-1206.
- [18] 赵骥, 邵富群, 张学东, 等. 基于非线性扩散率归一化的GAC模型图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2011(6):1245-1251.
(ZHAO Ji, SHAO Fuqun, ZHANG Xuedong, et al. Image segmentation based on GAC model with normalized nonlinear diffusion rate[J]. Chinese journal of scientific instrument, 2011(6):1245-1251.)
- [19] 欧文杰, 范立南, 孙申申. 基于形状约束的LBF模型的水平集分割[J]. 计算机应用与软件, 2014(11):204-206.
(OU Wenjie, FAN Li'nan, SUN Shenshen. Level set segmentation of LBF model based on shape constraint[J]. Computer applications and software, 2014(11):204-206.)
- [20] SEIJI K, TAKASHI Y, HIROSHI H, et al. Improvement of partial volume segmentation for brain tissue on diffusion tensor images using multiple-tensor estimation[J]. Journal of digital imaging, 2013, 26(6):1131-1140.