

一种改进的Canny边缘检测算法

张光玉¹,徐龙春²,张敏凤²,张岗²,邹越²,赵文波²,杨沛沛¹,李东玥¹

1. 泰山医学院放射学院, 山东 泰安 271016; 2. 泰山医学院附属医院, 山东 泰安 271000

【摘要】针对经典Canny边缘检测算法的一些问题,提出一种既具有较好的抗噪声能力又能自适应提取较多边缘细节改进的Canny边缘检测算法。该算法思想是先进行图像的预处理,包括基于模糊数学方法去除背景噪声的干扰,利用中值滤波和高斯平滑滤波去除图像中的随机噪声。然后,通过差分方法获得图像中各像素点的梯度矢量和梯度幅值,采用非极大值抑制方法获得极值点。最后,基于最大熵自动获取阈值,根据极值点图像和阈值得到边缘图像,使用边缘跟踪算法将不连续的边缘连接起来,并去除孤立噪声点。实验结果表明:改进算法所获得的边缘图像平均提高8 dB,与传统方法相比,可获得更加连续的边缘和更少的噪声点。

【关键词】Canny边缘检测;边缘跟踪;最大熵;模糊数学;中值滤波

【中图分类号】R312;TP391.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)08-0811-05

An improved Canny edge detection algorithm

ZHANG Guangyu¹, XU Longchun², ZHANG Minfeng², ZHANG Gang², ZOU Yue², ZHAO Wenbo², YANG Peipei¹, LI Dongyue¹

1. College of Radiology, Taishan Medical University, Tai'an 271016, China; 2. Affiliated Hospital of Taishan Medical University, Tai'an 271000, China

Abstract: We introduce an improved Canny edge detection algorithm for extracting much more edge information with less noise. Firstly, the background noises of images are eliminated using fuzzy mathematical method, and the random noises of images are removed using median filtering and Gaussian smoothing filter. And then, the gradient vector and gradient magnitude of every pixel point in images are obtained utilizing the difference method, and the extreme points are obtained using non-maximum suppression method. Finally, the edge images are achieved based on the extreme point images and thresholds which are automatically selected based on maximum entropy algorithm, and the edge images were further processed utilizing the edge tracing and noise eliminating methods. The results show that the signal to noise ratio of edge images obtained with improved algorithm are increased by 8 dB, compared with that of edge images obtained with Canny method. The improved Canny algorithm can obtain much more edge information and less noise than Canny algorithm.

Keywords: Canny edge detection; edge tracing; maximum entropy; fuzzy mathematics; median filtering

前言

边缘检测是重要的医学图像处理方法,已广泛应用于各种医学图像研究领域^[1-6]。多种边缘检测算子已经被提出,主要有经典的微分边缘检测算子和现代的边缘检测算子。经典的一阶算子如Robert算子、Prewitt算子、Sobel算子、Kirsch算子和Canny算

子^[7]。这些算子通过寻找图像灰度或彩色值的一阶微分的局部极值来检测图像边缘。二阶微分边缘检测算子如Laplacian算子,通过寻找图像灰度或彩色值的二阶微分的零交叉点来获得图像边缘^[8]。现代边缘检测算子主要有形态学边缘检测,利用形态学梯度算子检测图像边缘^[9];基于模糊数学的边缘检测,利用模糊规则集组成的模板检测图像边缘^[10];使用有限元素框架的多尺度边缘检测算法,通过有效地反复使用7个点的线性操作在不同尺度下获得图像边缘^[11];小波边缘检测方法,利用小波具有多尺度和多分辨率的特点,首先用小波滤波系数对图像进行滤波,然后寻找局部极致点来获得图像边缘,具有边缘定位精度高的特点^[12-14];基于结构树的快速边缘

【收稿日期】2017-02-26

【基金项目】山东省自然科学基金(ZR2015HL095);山东省医药卫生科技发展计划项目(2016WS0608);泰山医学院国家级大学生创新创业训练计划项目(201610439082)

【作者简介】张光玉,副教授,主要从事医学图像处理和脑功能成像方面的研究,E-mail:gyuzhn@163.com

检测算法^[15];梯度相乘和Canny算子相结合的联合边缘检测算法^[16];基于尺度相乘的Canny算子增强算法^[17]。

迄今为止,在已有边缘检测算法中,Canny边缘检测仍然是一种最重要的检测算法,该算法提出边缘检测的3个准则(即信噪比最大、定位准确、单边缘响应),已成为衡量其它边缘检测算法的黄金标准。人们也注意到,经典的Canny边缘检测存在一定的缺陷。例如,不能自动选取阈值,对随机噪声缺乏较强的抗干扰能力。针对这些问题,本文改进了Canny边缘检测算法。利用模糊数学和中值滤波去除背景噪声和随机噪声,增强算法的抗噪声能力;利用基于最大熵的自动阈值选取算法,代替传统算法中的手工选取阈值,增强算法的自适应能力。

1 材料与方法

1.1 材料

使用泰山医学院附属医院影像科提供的NIFTI格式的磁共振医学图像作为本研究中的传统Canny边缘检测算法和改进算法的测试图像。

1.2 方法

1.2.1 背景噪声去除 背景噪声对边缘检测的结果影响较大,为了获得较好的边缘检测结果,首先基于模糊数学的方法自动去除背景噪声的干扰。该方法首先将图像分为背景区域和目标区域(需要检测边缘的区域),根据模糊数学中的隶属度最大原则自动提取目标区域。隶属度最大原则表述如下:设观察空间 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, 其中, x_k 表示观察空间中的第 k 个样本, $k = 1, 2, \dots, N$ (N 是正整数),表示观察样本的总个数,在观察空间 X 上定义了 C 个模糊集合 A_1, A_2, \dots, A_C , $\mu_i(x_k)$ 表示样本 x_k 属于模糊集合 A_i 的隶属度,其中, $i = 1, 2, \dots, C$, C 为正整数。对于任一样本 $x_k \in X$ 若有:

$$\mu(x_k) = \max\{\mu_1(x_k), \mu_2(x_k), \dots, \mu_C(x_k)\} \quad (1)$$

则认为样本 x_k 隶属于 A_i 。设 $\mu_m(x_k)$ 表示图像中第 k 个像素属于目标区域的隶属度, $\mu_b(x_k)$ 定义如下:

$$\mu_m(x_k) = \begin{cases} 0, & x_k \leq a \\ 2\left(\frac{x_k - a}{c - a}\right)^2, & a < x_k \leq \frac{a+c}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x_k - c}{c - a}\right)^2, & \frac{a+c}{2} < x_k \leq c \\ 1, & x_k > c \end{cases} \quad (2)$$

式中, x_k 表示第 k 个像素的灰度值, a 和 c 表示预设灰度值, 区间 $[a, c]$ 称之为模糊区间。设 $\mu_b(x_k)$ 表示图像中第 k 个像素属于背景区域的隶属度, $\mu_b(x_k)$ 定

义如下:

$$\mu_b(x_k) = \begin{cases} 1, & x_k \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x_k - a}{c - a}\right)^2, & a < x_k \leq \frac{a+c}{2} \\ 2\left(\frac{x_k - c}{c - a}\right)^2, & \frac{a+c}{2} < x_k \leq c \\ 0, & x_k > c \end{cases} \quad (3)$$

$\mu_m(x_k)$ 和 $\mu_b(x_k)$ 满足以下关系式:

$$\mu_m(x_k) + \mu_b(x_k) = 1 \quad (4)$$

在式(2)和(3)中,可以根据图像的最小灰度值和平均灰度值来确定 a 和 c 的值。设 g_{\min} 表示图像中不为零的最小灰度值, g_{mean} 表示图像的平均灰度值,则 a 可以定义为:

$$a = g_{\min} + \eta g_{\text{mean}} \quad (5)$$

式中, η 表示一个常数,这里取 $\eta = 0.1$ 。 $c = g_{\text{mean}}$ 。

具体算法描述如下:求出待检测图像中的最小灰度值 g_{\min} 和平均灰度值 g_{mean} , 基于式(2)和式(3)得到待检测图像中的每一个像素隶属于目标和背景区域的隶属度 $\mu_m(x_k)$ 和 $\mu_b(x_k)$ 。逐行检测图像中的像素点,根据隶属度最大原则,如果 $\mu_m(x_k) > \mu_b(x_k)$, 则像素 x_k 属于目标区域,否则,像素 x_k 属于背景区域,用这种方式可以将目标区域从背景中自动提取出来,从而去除背景噪声影响。

1.2.2 中值滤波和高斯平滑滤波 去除背景噪声后的待检测图像中仍然包含大量随机噪声,为了去除这些噪声影响,我们设计中值滤波器来滤除这些噪声的影响。中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术,具有简单和速度快的特点,而且滤除噪声的同时对图像的细节信息(如边缘、锐角等)进行了较好的保护。在本研究中,采用了 3×3 的二维矩形滤波器对背景去除后的图像滤波得到图像 I_m 。中值滤波后的图像 I_m 中仍然含有高斯白噪声,因此,需要进一步滤除这些噪声。使用二维高斯滤波对图像 I_m 进行滤波,得到滤波后的图像 I_f 。

1.2.3 获取梯度值 对滤波后得到的图像 I_f 中每个像素点求宽度方向和高度方向的梯度,像素点 (n, k) 处宽度方向的梯度公式如下:

$$gr_n(n, k) = G_f(n, k+1) - G_f(n, k-1) \quad (6)$$

高度方向的梯度公式如下:

$$gr_n(n, k) = G_f(n+1, k) - G_f(n-1, k) \quad (7)$$

基于式(6)和(7),可得到像素点 (n, k) 处梯度的绝对值(或幅值),公式如下:

$$Gr(n, k) = \sqrt{gr_n^2(n, k) + gr_k^2(n, k)} \quad (8)$$

基于式(6)和(7)对图像 I_f 中每个像素点求梯度, 得到梯度图像 I_{gr} , 利用式(8)得到梯度幅值图像 I_{Gr} 。

1.2.4 非极大值抑制 利用非极大值抑制方法, 对梯度图像中的每个像素点进行标注, 标注的流程图如图1所示。图1中, $G_x(n, k)$ 表示标注后的图像 I_x 中的像素点 (n, k) 处的像素值。 $G_x(n, k)=128$ 表示像素点 (n, k) 是极值点, $G_x(n, k)=0$ 表示像素点 (n, k) 不是极值点。图1给出图像中某一行进行标注的流程, 标注完一行后, 移动到下一行重复图1中的流程, 用该方法标注图像中所有行, 可得到标注后图像 I_x 。

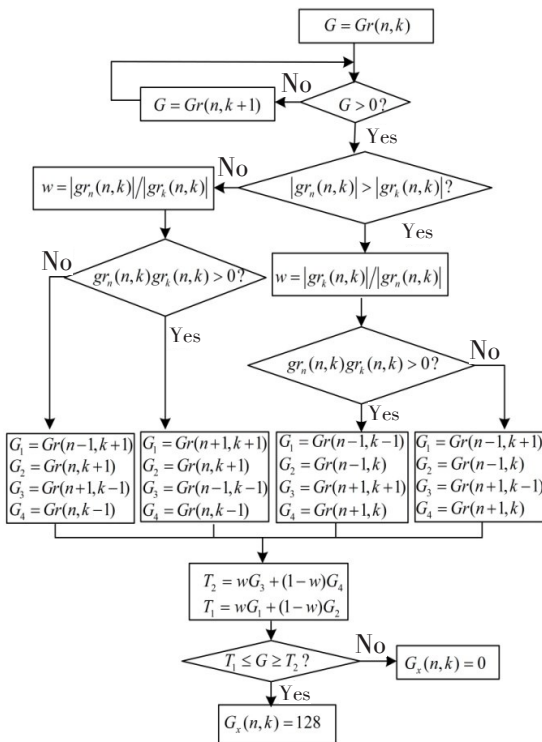


图1 非极大值抑制流程图

Fig.1 Flow chart of non-maximum suppression

1.2.5 基于最大熵的自动阈值选取 在图像边缘检测中, 阈值选取直接影响检测结果。常用的阈值人工选取自适应能力较差。为提高边缘检测算法的自适应能力, 许多自动阈值选取方法^[18-20]已提出并取得较好检测效果。Canny边缘检测采用两个阈值, 一个是高阈值, 用于获得边缘图像的轮廓; 另一个是低阈值, 用于边缘跟踪, 获得连续边缘。为了改进传统Canny算法人工选阈值的不足, 本文提出基于最大熵的自动阈值选取算法。熵是对事物所携带信息量的度量, 事物发生的概率越小, 则该事物所携带的信息量越大。设某事物 A 发生的概率为 p , 则事物 A 的

熵 $H(A)$ 定义为:

$$H(A) = -p \log p \quad (9)$$

基于最大熵的自动阈值选取就是通过改变阈值, 使事物的熵达到最大, 则此时对应的阈值, 就是最佳阈值, 根据该阈值对图像边缘进行检测, 可得到较好的检测效果。该算法的步骤如下: (1) 基于图像 I_x 得梯度幅值图像 I_{Gr} 中极值点灰度直方图, 对直方图进行归一化; (2) 获得归一化灰度直方图中各极值对应概率; (3) 设 k 表示某极值, 令阈值 $T=k$, 则阈值把直方图分为两部分, 分别对应背景和图像边缘, 不大于阈值的对应背景, 大于阈值的对应图像边缘。用 p_0, p_1, \dots, p_k 表示背景中各极值对应概率, 用 $p_{k+1}, p_{k+2}, \dots, p_n$ 表示图像边缘中各极值对应概率。设 $H(B)$ 表示背景对应的熵, 则 $H(B)$ 定义为:

$$H(B) = -\sum_{i=0}^k p_i \log p_i \quad (10)$$

设 $H(E)$ 为图像边缘对应的熵, 定义 $H(E)$ 为:

$$H(E) = -\sum_{i=1+k}^n p_i \log p_i \quad (11)$$

设 H 表示总熵, 则 H 定义为:

$$H = H(B) + H(E) \quad (12)$$

从归一化直方图中最小极值开始, 设阈值依次等于各极值, 根据式(12)依次得到各阈值对应的总熵值, 找出最大熵值对应的阈值 [该阈值需要满足 $H(E) \geq H(B)$], 则该阈值就是最佳高阈值 T_h , 用该阈值获得边缘图像的轮廓。低阈值 $T_l = \alpha T_h$, 根据该阈值进行边缘跟踪, 获得连续边缘。本研究取 $\alpha = 0.05$ 。

1.2.6 获得边缘图像和边缘跟踪 幅值图像 I_{Gr} 中像素值大于最佳高阈值 T_h 的极值点为边缘点, 这些边缘点组成边缘图像的轮廓。搜索轮廓中每个边缘点周围八邻域中标记为极值点的像素点, 把像素值大于低阈值 T_l 的点标记为边缘点, 用该方法进行边缘连接和跟踪。跟踪后的图像中有许多孤立的噪声点, 用噪声去除方法消除。具体算法是: 对每一个边缘点取一个以该边缘点为中心的 3×3 区域, 求出这个区域中边缘点总个数 m , 若 $m=1$, 则该边缘点为孤立噪声点被去除。

2 结果

首先评估两种算法所获得的边缘图像的信噪比 (SNR), 在本研究中, SNR 定义如下:

$$\text{SNR} = 20 \lg 10 \left(\frac{N}{M} \right) \quad (13)$$

式中, N 表示边缘图像中连续的边缘点总数, 连续边

缘点定义为以该边缘点为中心的 3×3 区域中边缘点总数不少于3个。 M 表示边缘图像中孤立和不连续的边缘点总数,不连续或孤立的边缘点定义为以该边缘点为中心的 3×3 区域中边缘点总数少于3个。表1给出两种算法所获得的4幅边缘图像的信噪比,可以看出,改进的算法所得的边缘图像SNR明显大于传统的Canny算法所得到的边缘图像SNR,平均大8 dB左右。图2显示传统Canny边缘检测算法和改进算法的实验结果。图2a~d表示原始医学图像(格式为NIFTI,图中所示是开窗显示的结果);图2e~h是对应的Canny边缘检测的结果;图2i~m是对应改进算法边缘检测的结果。两种算法都是对NIFTI格式的原始图像数据进行边缘检测。可以看出,改进的算法具有较强的抗噪声能力。为了能更客观地评价检测结果,两种算法利用了相同的阈值(通过基于最大熵的自动阈值获取算法得到)。我们还比较多幅其它图像的实验结果,得到了类似的结果,表明改进的算法具有较强的抗噪声能力,能获得较好的检测效果。除此之外,还评估手工选取阈值方法和自动阈值选取方法的实验结果,证明改进的算法具有较强的自适应能力。

表1 两种算法SNR比较

Tab.1 Signal to noise ratio (SNR) comparison between Canny algorithm and improved Canny algorithm

Image index	SNR of Canny algorithm/dB	SNR of improved Canny algorithm/dB
1	22.80	30.82
2	23.24	31.65
3	24.34	32.30
4	24.94	32.82
Average	23.83	31.90

3 讨论

图像边缘检测在图像处理中非常重要,大量的边缘检测算法都已提出。Canny边缘检测中所提出的3个准则,已成为检验边缘检测算法的金标准。现有的边缘检测算法,主要集中在基于3个准则利用各种方法改进检测算法^[5, 7-17, 21-24],目的是能够得到更好的检测效果。然而都忽略了对检测图像预处理的研究,实际上,在图像边缘检测中,图像预处理很重要,直接影响到后续的检测结果,特别是背景噪声和随机噪声,对边缘检测的干扰特别大。尽管很多算法都通过平滑滤波和其它滤波方法来减少这些噪声

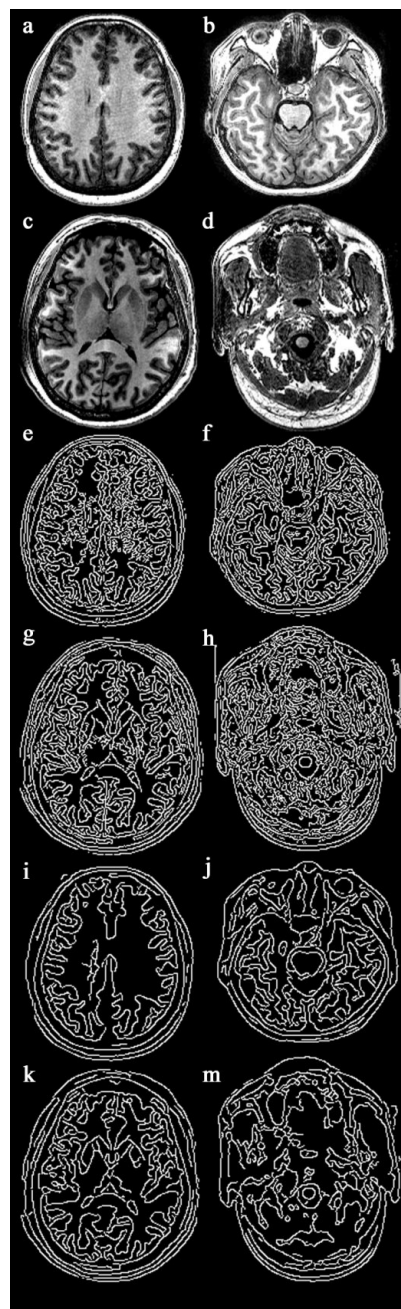


Fig.2 a-d denoted original medical images; e-h denoted the experimental results of Canny edge detection; i-m denoted the experimental results of improved Canny edge detection.

图2 两种边缘检测算法实验结果比较

Fig.2 Comparison of experimental results between Canny algorithm and improved Canny algorithm

因素的干扰,但效果还不能完全满足实际应用的需要。Canny边缘检测算法,虽然利用了高斯平滑滤波来解决图像中的噪声问题,但还是不能有效去除背景噪声和随机噪声的影响。针对边缘检测中存在的问题,我们提出基于模糊数学的背景噪声去除方法,并利用中值滤波来消除随机噪声的影响。

传统的Canny边缘检测方法通过调节阈值,确实可以达到不同的检测效果,从而满足不同需求。但

世界上没有两幅完全一模一样的图像,不同的图像需要不同的阈值,才能得到最佳的检测效果,一个阈值只能对某些类型的图像检测效果好,对其他类型的图像却不一定适用。在现实中,我们处理的图像千变万化,需要不断改变阈值,才能取得满意的效果。但实际图像处理中,不可能用人工方法不断去调节阈值,所以利用自适应方法自动改变阈值,达到尽可能最好的边缘检测效果,是图像处理领域重要研究方向。许多研究者都在探索自动阈值选取方法,目的是为了增强边缘检测方法的自适应能力^[18-20]。在我们的研究中,为了提高算法的自适应能力,提出基于最大熵的自动阈值选取方法。实验结果同传统的Canny边缘检测算法的结果进行比较,证明我们提出的改进算法是有效的。

图像边缘检测在模式识别包括病变识别(主要用于提取边缘特征)、图像分割(主要用于校正分割出的目标区域边界)和图像配准(非线性配准中用于更加精准的配准校正)中具有重要的应用。传统的Canny边缘检测方法由于自适应能力差,不适合用于自动模式识别、自动分割和自动图像配准。改进的方法由于能够自动选取阈值并且优化了噪声去除方法,所以具有更好的自适应能力,可以用于自动模式识别、自动分割和自动图像配准。

4 结论

在本研究中,我们针对目前边缘检测中存在的问题,提出一种改进的Canny边缘检测算法,实验结果证明改进的算法具有较强的抗噪声能力,能够有效提高检测图像SNR,获得较连续且具有较少噪声点的边缘图像。基于最大熵的自动阈值选取算法也有效提高改进算法的自适应能力。

【参考文献】

- [1] AL-DMOUR H, AL-ANI A. Quality optimized medical image information hiding algorithm that employs edge detection and data coding[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2016, 127: 24-43.
- [2] ALSHAYEJI M, AL-ROOMI S A, ABED S. Optic disc detection in retinal fundus images using gravitational law-based edge detection[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2016: 1-14.
- [3] CHOUDHRY P. High-throughput method for automated colony and cell counting by digital image analysis based on edge detection[J]. *PLoS One*, 2016, 11(2): e0148469.
- [4] KOPPAKA S, SHKLYAR I, RUTKOVE S B, et al. Quantitative ultrasound assessment of Duchenne muscular dystrophy using edge detection analysis[J]. *J Ultrasound Med*, 2016, 35(9): 1889-1897.
- [5] MANDAL S, VISWANATH P S, YESHASWINI N, et al. Multiscale edge detection and parametric shape modeling for boundary delineation in optoacoustic images[J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2015: 707-710.
- [6] STEVENS C F. Novel neural circuit mechanism for visual edge detection[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2015, 112(3): 875-880.
- [7] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1986, 8(6): 679-698.
- [8] COLEMAN S A, SCOTNEY B W, SUGANTHAN S. Edge detecting for range data using Laplacian operators[J]. *IEEE Trans Image Process*, 2010, 19(11): 2814-2824.
- [9] EVANS A N, LIU X U. A morphological gradient approach to color edge detection[J]. *IEEE Trans Image Process*, 2006, 15(6): 1454-1463.
- [10] HAQ I, ANWAR S, SHAKH K, et al. Fuzzy logic based edge detection in smooth and noisy clinical images[J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0138712.
- [11] GARDINER B, COLEMAN S A, SCOTNEY B W. Multiscale edge detection using a finite element framework for hexagonal pixel-based images[J]. *IEEE Trans Image Process*, 2016, 25(4): 1849-1861.
- [12] AYDIN T, YEMEZ Y, ANARIM E, et al. Multidirectional and multiscale edge detection via M-band wavelet transform[J]. *IEEE Trans Image Process*, 1996, 5(9): 1370-1377.
- [13] KASPERSEN J H, LANGO T, LINDSETH F. Wavelet-based edge detection in ultrasound images[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2001, 27(1): 89-99.
- [14] MALLAT S, ZHONG S F. Characterization of signals from multiscale edges[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell*, 1992, 14(7): 710-732.
- [15] DOLLAR P, ZITNICK C L. Fast edge detection using structured forests[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2015, 37(8): 1558-1570.
- [16] ZHENG Y, ZHOU Y, ZHOU H, et al. Ultrasound image edge detection based on a novel multiplicative gradient and Canny operator[J]. *Ultrason Imaging*, 2015, 37(3): 238-250.
- [17] BAO P, ZHANG L, WU X. Canny edge detection enhancement by scale multiplication[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2005, 27(9): 1485-1490.
- [18] HENSTOCK P V, CHELBERG D M. Automatic gradient threshold determination for edge detection[J]. *IEEE Trans Image Process*, 1996, 5(5): 784-787.
- [19] MEDINA-CARNICER R, CARMONA-POYATO A, MUNOZ-SALINAS R, et al. Determining hysteresis thresholds for edge detection by combining the advantages and disadvantages of thresholding methods[J]. *IEEE Trans Image Process*, 2010, 19(1): 165-173.
- [20] RAKESH R R, CHAUDHURI P, MURTHY C A. Thresholding in edge detection: a statistical approach[J]. *IEEE Trans Image Process*, 2004, 13(7): 927-936.
- [21] ASGHARI M H, JALALI B. Edge detection in digital images using dispersive phase stretch transform[J]. *Int J Biomed Imaging*, 2015: 687819.
- [22] LIU X F, YAO X R, LAN R M, et al. Edge detection based on gradient ghost imaging[J]. *Opt Express*, 2015, 23(26): 33802-33811.
- [23] PEREZ-ORNELAS F, MENDOZA O, MELIN P, et al. Fuzzy index to evaluate edge detection in digital images[J]. *PLoS One*, 2015, 10(6): e0131161.
- [24] THIRUMAVALAVAN S, JAYARAMAN S. An improved teaching-learning based robust edge detection algorithm for noisy images[J]. *J Adv Res*, 2016, 7(6): 979-989.

(编辑:陈丽霞)