

一种改进的模糊边缘检测算法

吴德刚¹, 张宇波¹, 曹立波²

(1. 郑州大学, 河南 郑州 450001; 2. 洛阳恒锐测控科技有限公司, 河南 洛阳 471000)

摘要:在全面分析 Pal. King 模糊边缘检测算法的基础上, 针对已有算法存在的缺陷, 提出了一种改进的模糊边缘检测算法。该算法给出了利用遗传算法确定最佳隶属度阈值的方法, 采用简单的隶属函数, 简化了 Pal. King 复杂的变换和逆变换, 根据需要对 μ_c 进行优化处理, 较快获取理想效果, 将“Max”和“Min”算子结合起来提取图像边缘。仿真结果表明, 采用改进的方法边缘检测质量得到了很大改善, 运算速度得到了显著提高。

关键词:边缘检测; 模糊; 阈值分割; 隶属度函数

中图分类号: TN391.4

文献标识码: A

Improved algorithm of fuzzy edge-detection

WU De-gang¹, ZHANG Yu-bo¹, CAO Li-bo²

(1. Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Luoyang Hengrui Measurement & Control Technology Co., Ltd, Luoyang 471000, China)

Abstract: On the basis of comprehensive analysis about limitations of Pal. King algorithm, an improved algorithm of fuzzy edge-detection is presented. Also proposed is a new method based on genetic algorithm to determine the optimal threshold of the membership grade. The simple membership function proposed in the paper simplifies the complex transformation calculation in Pal. King algorithm. In order to obtain the desired effect, the μ_c value is optimized according to the requirement. The edges of the image are extracted according to a rule combining the “Max” and “Min” operators. Simulation results show that with the proposed algorithm the quality of edge detection is largely improved and the computation of the algorithm is faster than that of Pal. King algorithm.

Key words: edge-detection; fuzzy; segmentation threshold; membership function

1 引言

图像最基本的特征是边缘, 所谓边缘是指图像局部亮度变化最显著的部分。由于边缘能够勾画出区域的轮廓、形状, 能传递出大部分图像信息, 因此边缘检测是图像分析中最重要的内容, 但是迄今为止仍没有得到圆满解决的一类问题^[1]。

传统的边缘检测算法有差分算子法、Sobel 算子法、Roberts 算子法、Canny 算子法等^[2], 但由于实际中遇到的图像常常具有模糊性, 因此这些边缘检测算法的效果都不是很理想。针对边缘的不确定性, 20 世纪 80 年代中期, 国外学者 Pal 和 King 提出了一种模糊边缘检测算法^[3], 由于该算法首次引入了模糊集理论, 检测效果优异, 因此在图像处理中(尤

其医学图像处理中)获得了较好的应用^[4-6]。近年来, 虽然不少学者对 Pal. King 算法进行了改进^[7-8], 但 Pal. King 算法在实际应用中仍存在不少缺陷, 需要进一步改进。本文在分析 Pal. King 算法的原理和不足的基础上, 提出了一种改进的模糊边缘检测算法。

2 Pal. King 算法分析

Pal. King 模糊边缘检测算法, 由于将模糊思想引入到图像的边缘检测算法中, 它能够有效地将目

作者简介: 吴德刚(1980 -), 男, 硕士, 主要从事图像处理, 智能仪器仪表等方面的研究。E-mail: wudegang81@126.com

收稿日期: 2010-05-25; **修订日期:** 2010-09-17

标从背景中分离出来。实际中遇到的图像常常是模糊、边缘不清晰的,采用 Pal. King 算法相对于传统的空域微分算法有着较好的抑噪、边缘检测效果。

Pal. King 算法的基本思想是首先利用隶属度函数将图像从空间域映射到模糊特征域;然后进行模糊增强处理,以增强边缘两侧像素灰度的对比度;接着再对模糊隶属度矩阵进行相应的逆变换,将增强后的图像由模糊空间变回数据空间;最后提取出图像边缘^[8]。

Pal. King 算法首先将待处理的图像 X , 利用隶属度函数 G , 映射成一个模糊隶属度矩阵。将一个具有 L 个灰度级的 $M \times N$ 的二维灰度图像表示成一个模糊集, 记为:

$$X = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \mu_{mn}/x_{mn} \quad (1)$$

其中, μ_{mn}/x_{mn} 表示图像像素 (m, n) 相对于某个特定灰度级 X_k 的隶属度, 通常 X_k 为最大灰度级 $X_{\max}$ 。

Pal. King 算法定义的隶属函数为:

$$\mu_{mn} = G(x_{mn}) = \left(1 + \frac{X_{\max} - x_{mn}}{F_d}\right)^{-F_e} \quad (2)$$

其中, F_d 为倒数型模糊因子; F_e 为指数型模糊因子, 其取值将直接影响模糊性的大小。

接着是利用增强算子, 对图像进行模糊增强。模糊增强算子定义为:

$$\mu'_{mn} = T_r(\mu_{mn}) = T_1(T_{r-1}(\mu_{mn})) \quad r=1, 2, \dots \quad (3)$$

式中:

$$T_1(\mu_{mn}) = \begin{cases} 2(\mu_{mn})^2\mu_{mn} & 0 \leq \mu_{mn} \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_{mn})^2 & 0.5 < \mu_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

然后利用 G^{-1} 变换将增强后的图像由模糊空间变换到数据空间;最后利用“Max”或“Min”算子提取图像边缘。

虽然 Pal. King 算法明显优于传统边缘检测算法,但这种算法在实际应用中仍存在着一些缺点,其主要缺点是:采用复杂的幂函数作为模糊隶属度函数,使得变换及矩阵求逆运算量较大,运算速度较慢。

其中文献[2]对 Pal. King 提出的方法进行了改进,提出了一个简单线性函数来代替复杂的隶属度函数。该线性函数如式(5)所示:

$$\mu_{mn} = G(x_{mn}) = \frac{x_{mn}}{(X-1)} \quad (5)$$

其中, x_{mn} 表示图像像素 (m, n) 的灰度值, $X = \max(x_{mn})$ 。

此改进算法由于引进了线性简单隶属度函数,

快速地完成了图像到隶属度函数矩阵的变换和隶属度函数矩阵到图像的逆变换。但此算法经模糊增强迭代后,图像各区域之间的层次模糊,边缘检测质量较差。

文献[3]在 Pal. King 算法中提出了阈值分割思想,并使用最大类间差法获得最佳分割阈值,此外还对 Pal. King 算法的 μ_c 值提出了一种动态调整方法。根据实验结果按式(6)动态调整 μ_c 值:

$$\mu_c = \begin{cases} \mu_c + 0.05 & U_p = 1 \\ \mu_c - 0.05 & U_p = 0 \end{cases} \quad (6)$$

此方法虽然利用像素与领域的空间相关信息能够获得较为满意的阈值,但运算量大大增加,效率不高。可以动态调整 μ_c 值,以适应不同类型图像和不同用户的要求。但由于 μ_c 值采用固定步长 0.05,因此比较费时。

以上文献[2]、[3]的改进算法,只适用于处理简单图像或对比度比较高的图像,对一些复杂图像或低对比度图像进行边缘检测难以获得良好的效果。

3 改进的 Pal. King 算法

针对 Pal. King 算法的不足及文献[2]、[3]的改进算法缺陷,本文提出了一种改进的模糊边缘检测算法。该改进算法的基本思想是首先利用遗传算法选取图像背景与目标的最佳分割阈值 T ;然后根据分割阈值 T ,定义新的隶属函数;再用增强算子对图像进行模糊增强,其中对 μ_c 值作了优化改进;最后将“Max”和“Min”算子结合起来提取图像的边缘。具体算法步骤如下:

(1) 利用遗传算法所具有的快速寻优特点对传统 OSTU 算法进行优化来确定最佳分割阈值。

首先确定遗传编码方法,由于图像灰度值在 0~255 之间,阈值作为一个染色体,对图像灰度值进行 8 位二进制编码。

其次产生初始种群,群体个数为 20 个,最大繁衍代数 30 代。

接着确定适应度函数,对于单阈值方法,采用式(7)如下所示:

$$g(k) = w_1(\mu_1 - \mu)^2 + w_2(\mu_2 - \mu)^2 \quad (7)$$

其中, k 为某一灰度,将图像所有像素分成 c_1 和 c_2 ; c_1 包含了 $i \leq k$ 的像素; c_2 包含了 $i > k$ 的像素; w_1 为 c_1 出现的概率; w_2 为 c_2 出现的概率; μ_1 为 c_1 类的平均灰度值; μ_2 为 c_2 类的平均灰度值; μ 为图像总均值, $w_1\mu_1 + w_2\mu_2 = \mu$ 。

对于双阈值方法,采用式(8):

$$g(k) = w_1(\mu_1 - \mu)^2 + w_2(\mu_2 - \mu)^2 + w_3(\mu_3 - \mu)^2 \quad (8)$$

其中, w_1 为小于门限 1 的概率; w_2 为介于门限 1 和门限 2 之间的概率; w_3 为大于门限 2 的概率; μ_1, μ_2 及 μ_3 分别表示上面三个区间的灰度平均值; μ 为图像总均值。

最后根据遗传算法的收敛定理, 赌轮法进行个体选择。交叉概率设为 0.75, 变异概率设为 0.08。算法执行到设定的最大代数时停止运行, 具有最高适应度值的个体即为最佳分割阈值 T 。

(2) 定义简单的隶属函数

本文定义的隶属函数如下:

$$\mu_{mn} = G(x_{mn}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{x_{mn} - x_{\min}}{T - x_{\min}} \right)^2 & x_{\min} \leq x_{mn} \leq T \\ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_{\min} - x_{\max}}{T - x_{\max}} \right)^2 & T < x_{mn} \leq x_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

其中, μ_{mn} 为模糊隶属度值; $x_{\min}$ 为最小灰度级; $x_{\max}$ 为最大灰度级。根据上式分析, 当 $x_{\min} \leq x_{mn} \leq T$ 时, μ_{mn} 属于 $[0, 0.5]$, 当 $T < x_{mn} \leq x_{\max}$ 时, μ_{mn} 属于 $(0.5, 1)$, 两部分区域合并可得到整幅图像的隶属度值属于 $[0, 1]$, 从而保证了图像所有的灰度信息都能进行模糊增强。

(3) 对图像进行模糊增强

采用的增强算子如下:

$$\mu'_{mn} = \begin{cases} 2(\mu_{mn})^2 \mu_{mn} & 0 \leq \mu_{mn} \leq \mu_c \\ 1 - 2(1 - \mu_{mn})^2 & \mu_c < \mu_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

根据需要对 μ_c 进行初始化, 如果需要突出主干边缘信息, μ_c 取 0.85; 如果需要突出细节边缘信息, μ_c 取 0.4。此外, 通过变步长的方法即采用式(11), 对 μ_c 进行合理调整。

$$\mu_c = \begin{cases} \mu_c + (1 + e^{-k}) * b & \text{当主干边缘信息不满足时} \\ \mu_c - (1 + e^{-k}) * b & \text{当细节边缘信息不满足时} \end{cases} \quad (11)$$

其中, b 取 0.05, $k(n+1) = k(n) + 1, k(0) = 0$, 这样可以在图像边缘检测效果不理想时, 加大步长进行调整, 较快地获取理想效果。

(4) 对 μ'_{mn} 进行逆运算, 从而得到模糊增强后的图像 X' :

$$x'_{mn} = \begin{cases} \sqrt{2\mu'_{mn}(T - x_{\min})} + x_{\min} & x_{\min} \leq x_{mn} \leq T \\ \sqrt{2(1 - \mu'_{mn})(T - x_{\max})} + x_{\max} & T < x_{mn} \leq x_{\max} \end{cases} \quad (12)$$

(5) 将“Max”和“Min”算子结合起来提取图像边缘

将“Max”和“Min”算子结合起来, 可以得到细致清晰的图像边缘信息。图像的边缘矩阵为:

$$E_{\text{edges}} = [X''_{mn}]_{M \times N} \quad (13)$$

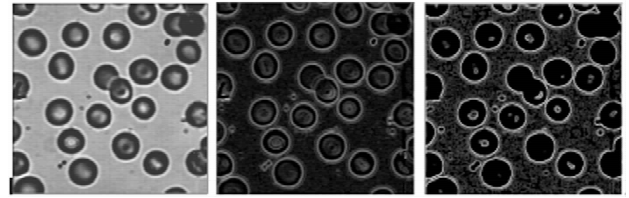
其中:

$$X''_{mn} = \left| \max \{x_{ij}\} - \frac{1}{2} \times [\min \{x_{ij}\} + X_{mn}] \right|, \quad (i, j) \in Q \quad (14)$$

其中, Q 可取以坐标 (m, n) 为中心的 3×3 窗口。

4 仿真结果及分析

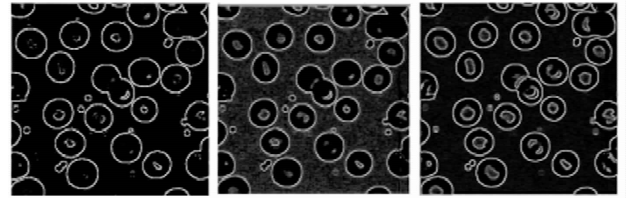
为便于比较, 在仿真试验中, 我们采用 sobel 算子、Pal. King 算法、文献[2]、[3]提出的改进算法及本文提出的改进模糊边缘检测算法对细胞图像(如图 1(a)所示)和 Lena 图像(如图 2(a)所示)进行边缘检测。



(a) 细胞原始图像

(b) sobel 算子

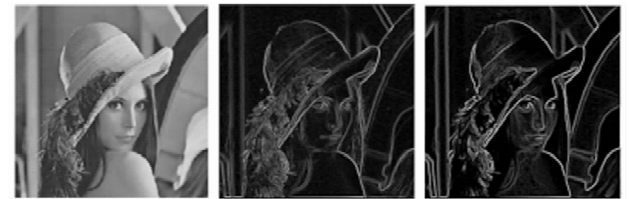
(c) Pal. King 算法



(d) 文献[2]改进算法 (e) 文献[3]改进算法 (f) 本文改进算法

图 1 细胞图像及各算法边缘检测结果

Fig. 1 cell image and emulation results of the edge-detection



(a) Lena 原始图像

(b) sobel 算子

(c) Pal. King 算法



(d) 文献[2]改进算法 (e) 文献[3]改进算法 (f) 本文改进算法

图 2 Lena 图像及各算法边缘检测结果

Fig. 2 Lena image and emulation results of the edge-detection

从图 1 和图 2 可以看出, sobel 算子的检测效果

最差,边缘信息勾画不清、边缘轮廓模糊。Pal. King 算法检测出的边缘清晰且连续性较好,但得到的边缘偏粗,而且某些边缘信息无法被有效地检测出来,如图 1(a)中细胞外侧亮度较大的光圈及图 2(a)中 Lena 的发梢等经过 Pal. King 算法后出现损失。文献[2]、[3]提出的改进算法效果相比 Pal. King 算法有很大的提高,但是细小、模糊的边缘还是没有检测出来。而本文改进算法提取的图像边缘细致、清晰、信息量丰富,而且运算速度大大提高。运算速度对比如表 1 所示。

表 1 算法运行时间比较

算法名称	Pal. King 算法	文献[2]改进 算法	文献[3]改进 算法	本文改进 算法
运算时间 /ms	54.000	42.000	39.000	31.000

5 结 论

本文针对 Pal. King 算法及已有改进算法的不足,提出了一种新的改进模糊边缘检测算法。该算法采用遗传算法优化最佳分割阈值,并根据阈值重新定义新的隶属函数,避免了 Pal. King 算法运算复杂且已损失低灰度信息的不足;根据需要对 μ_c 值进行优化调整,提高了算法的适应性;综合了“Max”或“Min”算子,得到了较单一算子更细致清晰的边缘信息。仿真结果表明本文提出的改进模糊边缘检测算法,能够有效快速的提取图像边缘,克服了 Pal. King 算法及已有改进算法的缺点。因而本算法是一种高效实用的边缘检测算法。

参考文献:

[1] Yuan Chun-lan, Xiong Zong-long, Zhou Xue-hua, et al. The image edge detection based on Sobel operator[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(1): 85 – 87. (in Chinese)

袁春兰,熊宗龙,周雪花,等. 基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(1): 85 – 87.

[2] Luo Yu-ling, Tang Xian-ying. The image edge detection algorithm based on thresholding[J]. Control & Automation, 2007, 23(23): 286 – 288. (in Chinese)

罗玉玲,唐贤英. 基于阈值化的图像边缘检测算法[J]. 微计算机信息, 2007, 23(23): 286 – 288.

[3] Pal S K, King Pa. On edge detection of X-Ray images using fuzzy set[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 1983, 5(1): 69 – 77.

[4] Du Ya-qin, Guo Lei, Chen Liang. The fuzzy image edge detection method based on genetic algorithms and OSTU[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(19): 31 – 32. (in Chinese)

杜亚琴,郭雷,陈亮. 一种遗传优化和 OSTU 的图像模糊边缘特征提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 31 – 32.

[5] Lian Jing, Wang Ke. Multiscale edge detection fusion[J]. Scientific Instrument, 2007, 28(5): 853 – 854. (in Chinese)

连静,王珂. 基于多尺度融合技术的图像边缘检测[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(5): 853 – 854.

[6] Rakesh R R, Chaudhuri P, Mmuhihy C A. Thresholding in edge detection: a statistical approach[J]. IEEE Tram. on image Processing, 2004, 13(7): 927 – 936.

[7] Ma Zhi-feng, Yang Bing-chao, Zhao Bao-jun, et al. The improved algorithm of fast fuzzy edge detection[J]. Laser & Infrared, 2005, 35(4): 300 – 302. (in Chinese)

马志峰,杨水超,赵保军,等. 改进的快速图像模糊边缘检测算法[J]. 激光与红外, 2005, 35(4): 300 – 302.

[8] Geng Yan-feng, Ma Yue. The algorithm of fast fuzzy edge detection[J]. Computer Engineering, 2002: 21 – 25. (in Chinese)

耿彦峰,马钺. 快速模糊边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2002: 21 – 25.