

基于 Canny 算子的白酒显微图像边缘提取

刘远仲, 曾黄麟, 樊玉梅

(四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000)

摘要:文章提出了一种改进的 Canny 算子和数学形态学相结合的白酒显微图像边缘检测方法。首先采用二维高斯函数的一阶偏导数同时构造 x 和 y 方向滤波器计算梯度幅值, 然后通过四阈值边缘检测方法进行边缘定位, 最后引入了数学形态学对边缘进行融合。实验仿真表明, 该方法对酒分子结构边缘检测精度较准、抗噪性能良好, 能有效的克服图像边缘模糊与断点, 提高了边缘的连续性。

关键词:图像处理; 边缘检测; Canny 算子; 数学形态学

中图分类号: TP391

文献标识码: A

数字图像的边缘检测是图像分割、目标区域识别和区域形状提取等图像分析领域十分重要的基础, 也是图像识别中提取图像特征的一个重要属性。在进行图像理解分析时, 第一步往往就是边缘检测, 目前它已经成为模式识别领域最活跃的部分之一, 如何探讨出新方法、新算子提高边缘检测的准确度在很多文献中都已出现且取得了成效^[1]。酒文化自古以来就在我国发展的历史长河中源远流长, 酒产业在我国的经济发展中占有十分重要的地位。运用基于图像的分割技术, 研究酒类图像分子结构的边缘测定方法对白酒质量的评价与归类提供了便捷、客观和公正的途径。在保证国家酒类安全方面具有十分重要的意义。在众多的边缘检测算法中, Canny 算子在很多应用上都表现出了很多优点, 因此该算法得到了广泛的应用。但是目前的边缘检测算子都是利用灰度图像中局部灰度的不连续性来进行边缘检测, 而需要检测的图像往往并不是在理想情况下所得到的, 因此图像容易受到拍摄时的条件影响, 使整幅图像或图像的局部在进行边缘检测时产生漏检或错检^[2]。造成检测结果不太理想, 本文针对这种情况对传统的 Canny 算子原理进行了阐述, 并在传统 Canny 算子缺陷的基础上进行了改进, 提出了一种更有效地检测方法。

1 Canny 算子实现的基本过程

图像中物体边界上的像素点与其领域是一个灰度

级变化带。衡量这种变化最有效的两个特征值就是灰度的变化率或变化方向, 他们分别以梯度向量的幅值和方向来表示, 对于连续图像 $f(x, y)$, 其方向导数在边缘(法线)方向上有局部最大值。因此, 边缘检测就是求 $f(x, y)$ 梯度的局部的最大值和方向^[3]。

已知 $f(x, y)$ 在 ϑ 方向沿 r 的梯度定义如下:

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} = f_x \cos\theta + f_y \sin\theta \quad (1)$$

$\frac{\partial f}{\partial r}$ 达到最大值的条件是

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial f}{\partial r} \right)}{\partial \theta} = 0$$

即:

$$-f_x \sin\theta_g + f_y \cos\theta_g = 0$$

得

$$\theta_g = \arctan \frac{f_x}{f_y}$$

梯度最大值

$$g = \left(\frac{\partial f}{\partial r} \right)_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

称为梯度模, 梯度模算子具有位移时不变性和各向同性的性质, 非常适用于图像的边缘检测。

1.1 Canny 应满足的准则

Canny 算子是一种最优的阶梯型边缘(Step Edge)

检测算子,满足如下的准则^[4]:

(1) 高信噪比准则:即输出信号的信噪比最大,使得非边缘点判断为边缘点或边缘点判断为非边缘点的概率最小。信噪比越大,误检率就越低。数学表达式为:

$$SNR(F) = \frac{\left| \int_{-w}^w G(-x)f(x) dx \right|}{no \left[\int_{-2}^w f^2(x) dx \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

其中 $f(x)$ 是边界为 $[-w, w]$ 滤波器的脉冲, $G(x)$ 代表边缘, no 是 Gaussian 噪声的均根。SNR(F) 越大,边缘提取效果越好。

(2) 高定位精度准则:即检测出的边缘点与实际边缘点的距离最小,使得定位精度最高。好的定位精度是指检测出的边缘点应该尽可能地靠近真实边缘的中心,定位精度的数学表达式为:

$$localization = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} G'(-x)f'(x) dx \right|}{no \left[\int_{-\infty}^{\infty} f'(x) dx \right]} \quad (3)$$

其中, $G'(-x)$, $f'(x)$ 分别是 $G(-x)$, $f(x)$ 的一阶导数。localization 值越大,定位精度越高。

(3) 单一边缘响应准则:即单个边缘产生的多个响应的概率要低。虚假边缘响应应该得到最大抑制。要求 f 对噪声的响应中两个相邻最大值间隔为 $x_{max}(f)$, f 的零交叉点平均距离为 x ,两者关系是:

$$x_{max}(f) = 2x_{ze} - kw$$

其中 k 为小于 1 的系数;

$$x_{ze} = \pi \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} f'(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

依据上面所提的三个判断准则,推导出最佳边缘检测算子。

1.2 Canny 算子实现步骤

Canny 算子在力图抗噪声干扰和精确定位之间寻找最佳折中方案^[5]。用 canny 算子检测图像边缘实现过程如下:

(1) 首先用 2D 高斯滤波模板与原始图像进行卷积,以消除噪声。

(2) 利用导数算子(如 Prewitt 算子、Sobel 算子等)找到图像灰度两个方向的导数 G_x 和 G_y ,并计算梯度的模:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

(3) 利用所得到的结果计算梯度的方向。

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

(4) 求出了边缘的方向,就可以把边缘的梯度方向大致分为 4 种(0° , 45° , 90° 和 135°) 并可以找到这个像素梯度方向的邻接像素。

(5) 遍历图像。若某个像素的灰度值与其梯度方向上前后两个像素的灰度级相比不是最大的,那么将这个像素值置为 0,即该像素点不是边缘。

(6) 使用累计直方图计算两个阈值。凡是大于高阈值的一定是边缘;凡是小于低阈值的一定不是边缘。如果检测结果在两个阈值之间,则根据这个像素的邻接像素中有没有超过高阈值的边缘像素,如果有,则它就是边缘,否则不是。

1.3 传统 Canny 算法的缺陷

虽然在实际应用中 Canny 算子优于目前应用较多的其它算子,如 Roberts 算子、Sobel 算子和 LOG 算子等多种边缘检测算法,但是 Canny 算子仍然存在以下缺陷^[6]:

(1) 对噪声比较敏感,容易检测出虚假边缘或丢失一些真实边缘的细节部分。

(2) 采用双阈值方法定位边缘,难以选择合适的下限阈值。可能出现大量伪边缘。

(3) 传统 Canny 算法获取的边缘达不到单像素级,在一个边缘点出现多个响应的现象。

由于有上述问题,影响了 Canny 算法的实践应用。针对这些缺点,本文给出了一种改进的 Canny 算法。

2 改进的 Canny 算法

2.1 梯度幅值计算方法的改进

传统 Canny 算法是先对图像做平滑处理,然后计算梯度;而小波变换用高斯函数的一阶导数作为小波函数,直接对原图像进行小波变换并计算其梯度^[6]。基于此,本文结合二者的优点,首先对原来的 2×2 滤波器进行了改进,采用二维高斯函数的一阶偏导数

$$G = \sqrt{xy} \frac{\exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)}{\pi\sigma^2} \quad (5)$$

同时构造 x 和 y 方向滤波器的计算梯度,然后得到梯度值的更好近似,由式(5)构造的 x 和 y 方向滤波器为:

$$f_{xy} = \begin{bmatrix} 0.0001 & 0.0011 & 0.0022 & 0 & 0.0022 & 0.0011 & 0.0001 \\ 0.0015 & 0.0116 & 0.0260 & 0 & 0.0260 & 0.0116 & 0.0015 \\ 0.0065 & 0.0522 & 0.1170 & 0 & 0.1170 & 0.0522 & 0.0065 \\ 0.0110 & 0.0863 & 0.1930 & 0 & 0.1930 & 0.0863 & 0.0110 \\ 0.0065 & 0.0522 & 0.1170 & 0 & 0.1170 & 0.0522 & 0.0065 \\ 0.0015 & 0.0116 & 0.0260 & 0 & 0.0260 & 0.0116 & 0.0015 \\ 0.0001 & 0.0011 & 0.0022 & 0 & 0.0022 & 0.0011 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

2.2 边缘检测及定位

为了有效解决下限阈值选取的矛盾 本文利用多种文献中已提出的四阈值边缘检测定位方法。

- (1) 根据边缘点占梯度模极大值点的比例 , 设上、下限阈值分别为 t_{up} 和 t_{down} ($T_{DOWN} < T_{UP}$)。
- (2) 选择大于上限阈值 T_{UP} 的局部模极大值点作为边缘起始点。
- (3) 连接大于下限阈值 T_{DOWN} 且与边缘起始点连通的局部模极大值点 , 将小于下限阈值 T_{DOWN} 或无法实现连通的局部模极大值点删除 , 形成广义边缘链。
- (4) 通过预先设定的链长度阈值 T_N 和链平均幅度阈值 T_{AVERN} ($T_{DOWN} < T_{AVERN} < T_{UP}$) , 删除链长度小于 T_N 、链平均局部模极大值小于 T_{AVERN} 的广义边缘链 , 形成图像边缘。这种四阈值方法很好地解决了难以合理选择下限阈值 (T_{DOWN}) 的缺点 , 确保了检出的边缘无间断 , 同时还可以删除那些边缘强度较弱或边缘长度较短的伪边缘 , 由于经过了非极大值抑制 , 步骤 (3) 连接的

大于下限阈值的局部模极大值点 , 大多是沿边缘方向的点 , 出现垂直与边缘方向点的概率非常小 , 故不会因该操作造成边缘严重变粗^[7]。

2.3 形态学处理

数学形态学是一种应用于图像处理和模式识别领域的新方法^[8] , 数学形态学主要运算方式为: 膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。我们在这里主要采取膨胀与腐蚀技术 , 单独采用腐蚀或膨胀运算往往会使显微图像中的酒分子结构形状改变较大 , 从而可能歪曲酒分子结构的定位依据信息。本文结合二者的优点将腐蚀和膨胀开运算与闭运算相组合 , 则基本上不会改变酒分子结构的形状 , 因此本文采取了这种运算方法^[9]。

3 仿真结果与分析

文章采用 matlab7.8 软件实验 , 对“tire. TIF; % 95% 94”与实物图白酒显微图像结构“jiufenzi. bmp”进行仿真对比 , 得到的实验图形如图 1 - 图 6 所示。

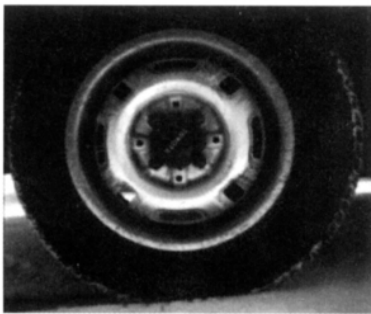


图 1 原始图像

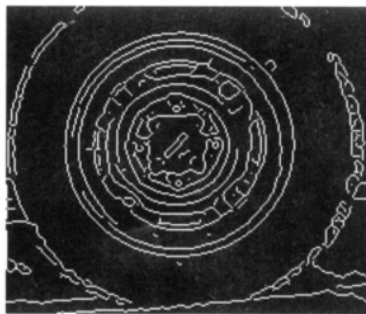


图 2 传统 canny 处理结果



图 3 本方法处理的结果

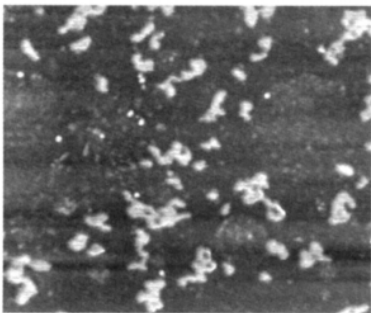


图 4 原始白酒分子图像

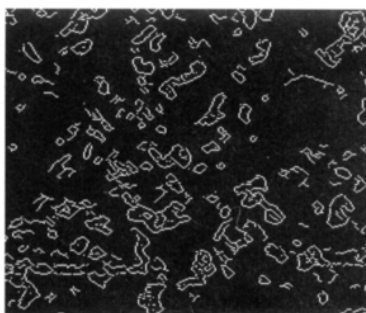


图 5 传统 canny 处理结果

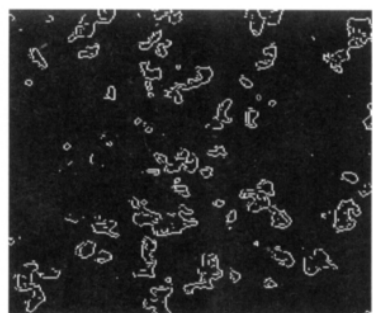


图 6 本方法处理后的结果

从实验结果可以看出 , 用本方法进行仿真的图像 (图 3 和图 6) 边缘显示更清楚 , 轮廓更连续 , 可以为后续的白酒图像识别 (例如特征提取 , 模式匹配) 提供方便。在这里也有一些不足 , 例如现在许多文献提出了一种自适应阈值选取法 , 在图像的边缘检测中已经取得了成效 , 如何将各种图像边缘检测的优点相结合尚有待进

一步深入研究^[10]。

参 考 文 献:

[1] Mallat S , Wang W L H. Singularity detection and processing with wavelets [J]. IEEE Tans. 2002 , IT-38(2) : 617-643.

- [2] 曾黄麟. 智能计算[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2004.
- [3] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [4] 张斌, 贺赛先. 基于canny算子的边缘提取改善方法[J]. 红外技术, 2006, 28(3): 165-169.
- [5] Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing MATLAB [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 78-125.
- [6] 李刚, 何世文, 卢玉荣, 等. 小波变换模极大值多尺度边缘检测算法分析[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2010, 21(5): 65-68.
- [7] 李红, 胡方明, 初秀琴. 一种改进的Canny边缘检测算法[J]. 微计算机信息, 2008(24): 12-13.
- [8] 张德丰. MATLAB数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [9] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [10] 高飞, 杨平先, 孙兴波. 基于小波变换与阈值收缩法的图像增强去噪[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2006, 19(2): 8-10.

Spirits Microscopic Image Edge Detection Based on Canny Arithmetic Operators

LIU Yuan-zhong, ZENG Huang-lin, FAN Yu-mei

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: An edge detection approach of spirits microscopic image combines canny with mathematical morphologic method is proposed. First, the filter operator constructed with the first order partial derivative of two-dimensional Gaussian function is employed to compute gradient with the x and y directions. Then the edge was located via the edge detection and localization method with four threshold values. And finally, edge thin operation was conducted by introducing a morphological operator. The simulation experiment demonstrates that this method will increase the precision of the image edge detection, enhance the antinoise performance, thus improving the effect of image edge detection.

Key words: image processing; edge detection; canny operator; mathematical morphology