

基于 Canny 算子的大米边缘检测^①

程有娥¹, 钱月晶¹, 张永刚²

¹(浙江工贸职业技术学院 信息工程系, 温州 325000)

²(吉林大学 计算机学院, 长春 130012)

摘要: 为解决传统边缘检测算法对大米图像边缘检测精度低以及对噪声敏感的问题, 提出一种改进的 Canny 边缘检测算法。该方法首先采用非线性扩散滤波减少图像噪声, 同时保持图像的边缘信息; 在邻域梯度幅值计算中, 考虑像素对角线方向的梯度, 进一步抑制噪声的影响; 最后采用最大类间方差法选取阈值, 从而提高对不同图像的自适应性。通过对实验图像的分析表明, 本文的改进算法运用到大米图像边缘提取中效果显著, 满足大米质量检测和分级的要求。

关键词: 边缘检测; Canny 算子; 非线性扩散; 阈值

Rice Edge Detection Based on Canny Edge Detection Algorithm

CHENG You-E¹, QIAN Yue-Jing¹, ZHANG Yong-Gang²

¹(Zhejiang Industry & Trade Polytechnic, Wenzhou 325000, China)

²(Jilin University, Jilin 130012, China)

Abstract: In this paper, an improved canny edge detection algorithm was represented to solve traditional edge detection algorithm in rice edge detection which had low precision and noise sensitive. Firstly, nonlinear diffusion filter was used to wipe of noise efficiently and kept the edge information of the image. Secondly, gradient calculation of pixel diagonal direction was considered in the calculation of neighborhood gradient amplitude which further repressed the impact of noise. Thirdly, using average interclass variance could self-adaptively calculate the double thresholds for different images. The results of the experiment indicate that the improved algorithm not only can be applied to rice image edge detection but also has a better accuracy and precision in the edge detection.

Keywords: edge-detection; canny operator; nonlinear diffusion; threshold

1 引言

图像边缘是指图像局部区域亮度变化最显著的部分, 该区域灰度剖面一般可以看作是一个阶跃, 既从一个灰度值在很小的缓冲区域内急剧变化到另一个灰度相差较大的灰度值^[1]。在我们常用的几种用于边缘检测的算子中 Laplace 算子常常会产生双边界; 而其他一些算子如 Sobel 算子又往往会形成不闭合区域。相比传统的微分算子, 基于最优化算法的 Canny 边缘检测算子^[2,3]因具有信噪比大和检测精度高的优点, 被广泛应用, 但 Canny 边缘检测算子也存在某些不足。研究人员针对 Canny 边缘检测算子的缺陷提出了多种改

进方法^[4-7], Canny 算法用 Gauss 函数作为滤波器, 会造成图像过度平滑, 容易丢失缓变边缘。文献[4]以 B 样条来替代 Gauss 函数对 Canny 算子进行改进, 该方法在一定程度上改善缓变边缘丢失问题, 但在处理不同细节图像时这种方法不能得到较好的检测效果。文献[5]以小波变换来替代 Gauss 函数对 Canny 算子进行改进, 虽能取得比较好的效果, 但是仅适用于对比度比较低的图像。大米边缘提取对分析大米的品质如加工精度、不完善率、杂质、出糙率、整精米率等都有十分重要的意义, 是实现大米质量检测和分级的最基本参数^[8]。因此笔者提出用非线性

① 基金项目: 国家自然科学基金(60773097); 温州市科技项目(H20090053)

收稿时间: 2010-08-31; 收到修改稿时间: 2010-10-04

滤波代替高斯滤波^[9,10],非线性滤波是一种边缘保持滤波,在减少图像噪声,同时保持图像边缘信息。

Canny 算子在阈值的选取没有统一标准,通常是人工设定。对于同一幅图像,由于拍摄条件的不同以及光照条件的影响,进行边缘检测的结果与理想情况下进行检测的结果是不同的,不仅如此,不同的图片由于灰度分布的不同,所选取的阈值也是不相同的。文献[6,7]对阈值进行研究提出所谓自适应方法也需要人为的设定阈值比例系数,这些方法都无法排除人为因素的干扰。鉴于此,笔者提出采用最大类间方差来确定阈值的方法:不需要人为的设定阈值,自动的根据不同图片,求取适合自身的阈值。

2 传统的Canny算法

John Canny 于 1986 年提出的一种边缘检测算法,即 Canny 算子。Canny 把边缘检测问题转换为检测单位函数的极大值问题,Canny 认为一个优良的边缘检测算子应具有以下 3 个特性:好的检测性能,好的定位性能,对同一边缘要有低的响应次数并以此提出了判定边缘检测算子的三准则:

① 信噪比准则:即是边缘但是没有检测出来的和不是边缘却检测出来是边缘的这种概率降到最低,对于这两个概率都随着信噪比提高而单调下降。

② 定位精度准则:即检测到的边缘尽可能在真实边缘的中心

③ 单边响应准则:即单个边缘产生多个响应的概率要低,虚假边缘的响应要得到最大的抑制。

上面的指标和准则为基础,利用泛函求导的方法导出一个由边缘定位精度和信噪比乘积组成的表达式,这个表达式近似于 Gaussian 函数的一阶导数,此即为该最佳函数的最好近似。

传统的 Canny 算子边缘检测采用二维高斯函数的任一方向上的一阶方向导数为噪声滤波器,通过与图像卷积进行滤波;然后对滤波后的图像寻找图像梯度的局部极大值,以确定图像边缘。其数学描述如下:设二维高斯函数为

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

在某一方向 n 上 $G(x, y)$ 的一阶方向导数为:

$$G_n = \frac{\partial G}{\partial n} = n \nabla G \quad (2)$$

$$n = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad \nabla G = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x} \\ \frac{\partial G}{\partial y} \end{bmatrix}$$

其中: n 是方向矢量, ∇G 是梯度矢量。

将图像 $f(x, y)$ 与 G_n 做卷积,同时改变 n 的方向, $G_n * f(x, y)$ 取得最大值时的 n (即 $\frac{\partial(G_n * f(x, y))}{\partial n} = 0$) 就是正交于检测边缘的方向。

虽然在实际应用中 Canny 算法优于目前应用较多的 Sobel 算子、Laplace 算子等边缘检测算法,但 Canny 算法也存在如下问题:

① 传统 Canny 算子用高斯函数对图像做平滑滤波会造成过度平滑,图像平滑滤波的主要目的是提高信噪比,消除噪声,然而在对图像做高斯平滑时,边缘作为高频成份被平滑掉,使一些边缘变成缓变边缘,这样在非极大值抑制的时候,缓变边缘将丢失。

② 传统 Canny 算子在 2×2 邻域内求有限差分均值来计算梯度幅值的算法,对噪声较敏感,且容易检测出假边缘或丢失一些真实边缘的细节部分。

③ 传统 Canny 算子检测边缘时,梯度阈值完全依赖人工获得,无法满足大图像库中图像边缘自动检测的要求。

这些问题的存在影响了 Canny 算法的应用效果,本文对这些问题进行了深入研究,提出了一种改进方案。

3 改进的Canny边缘检测算法

3.1 非线性扩散滤波

从对 Canny 算法的分析中可以看出,运用 Canny 算子提取边缘首先进行的是高斯滤波,其目的就是原始图像进行平滑处理,以去除或减弱图像中的噪声。由于图像边缘和噪声都是高频信号,运用原始的高斯函数进行滤波,会使图像的边缘模糊度增加,这将使后续的检测过程变得困难,本文采用了由 Perona 和 Malik 提出的非线性各向异性扩散滤波,它是一种比较有效的边缘保持滤波方法,它以输入的图像作为初始条件,通过求解一个非线性偏微分方程得到滤波后的图像,其各向异性扩散方程为:

$$\partial_t u = \text{div} \left(g \left(|\nabla u|^2 \right) \cdot \nabla u \right) \quad (3)$$

其中, u 表示演化中的图像, 初始条件为 $u(x, y, 0) = I(x, y)$, 方程的扩散系数 $g(|\nabla u|^2)$ 被选择为一个非增函数, 控制扩散方程的行为, 在它的作用下: 对于图像的平坦区域, 平滑作用增强, 对于边缘区域, 平滑作用减弱。

$P-M$ 方程的扩散性质取决于图像边缘的良好估计以及 g 函数的下降趋势, 它们决定着平滑与边缘之间的权衡。本文采用基于总变分流形式的扩散函数, 它能使扩散方程在保留大尺度边缘信息的同时, 对图像区域内部进行平滑, 获得更加稳定的特征图像:

$$g(|\nabla u|^2) = \frac{1}{|\nabla u|^2 + \varepsilon} \quad (4)$$

其中 ε 取任意小常数, 以保证梯度模为零时函数值仍然有效。

仿真实验表明, 非线性扩散滤波器的平滑作用是缓慢和渐进的, 而边缘锐化则只需经过少数几次迭代就能得到, 就可以达到期望的平滑锐化结果。在本次试验中, 将迭代次数设置为 10, 试验结果表明可以达到预期的实验效果。

3.2 3×3 邻域的梯度幅值计算

传统的 Canny 算法是通过在 2×2 邻域内求有限差分来计算梯度幅值, 该方法对噪声较敏感, 容易检测出假边缘或丢失一些真实边缘的细节部分。本文采用在 3×3 邻域计算梯度幅值。

首先计算 x 方向偏导数

$$P_x(x, y) = G(x, y+1) - G(x, y-1) \quad (5)$$

y 方向偏导数

$$P_y(x, y) = G(x+1, y) - G(x-1, y) \quad (6)$$

45° 方向偏导数

$$P_{45}(x, y) = G(x-1, y+1) - G(x+1, y-1) \quad (7)$$

135° 方向偏导数

$$P_{135}(x, y) = G(x+1, y+1) - G(x-1, y-1) \quad (8)$$

水平方向的差分为

$$f_x(x, y) = P_x(x, y) + \frac{P_{45}(x, y) + P_{135}(x, y)}{2} \quad (9)$$

垂直方向的差分为

$$f_y(x, y) = P_y(x, y) + \frac{P_{45}(x, y) - P_{135}(x, y)}{2} \quad (10)$$

则梯度幅值为

$$M(x, y) = \sqrt{f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2} \quad (11)$$

梯度方向为

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{f_x(x, y)}{f_y(x, y)} \quad (12)$$

该方法考虑了像素对角线方向, 增加了计算像素偏导数的方向, 改进了传统 Canny 梯度计算算子, 将其引入了差分均值计算中, 提高了边缘定位的准确性。

3.3 选取阈值

为了提取图像的边缘, 必须设定合适的阈值。针对传统 Canny 算法在阈值设定上的缺陷, 本文通过对图像经梯度运算后得到的梯度幅值图像, 采用基于最大类间方差法来确定 Canny 算子阈值。

设图像 $f(x, y)$ 的灰度范围为 $G = \{0, 1, \dots, n-1\}$, $p(k)$ 为灰度值为 k 的概率, 选择的门限 T 将其划分为目标区域 $R1 = \{0, 1, \dots, T\}$ 、背景区域 $R2 = \{T+1, T+2, \dots, n-1\}$ 两类。 $R1$ 和 $R2$ 类的方差为 σ_1^2 和 σ_2^2 。按照模式识别理论, 可计算出类内方差 σ_i^2 , 类间方差 σ_o^2 , 总体方差 σ_t^2 ; 当类间方差与总体方差之比 $s_k = \sigma_o^2 / \sigma_t^2$ 最大时分类性能最优, 这时的阈值就是最佳阈值。

在编程求解最大类间方差的阈值时, 求解步骤如下:

Step1. 选择一个近似值 T_k 作为图像 $f(x, y)$ 的初始阈值

$$T_k = \frac{(z_{\min} + z_{\max})}{2} \quad (13)$$

其中 z_{\min} 为最小灰度值, z_{\max} 为最大灰度值

Step2. 根据阈值 T_k 把图像分成目标区域 $R1$ 和背景区域 $R2$, 并计算这两个区域出现的概率 $w_1(t)$ 、 $w_2(t)$, 均值 $u_1(t)$ 、 $\mu_2(t)$ 和方差 σ_1^2 和 σ_2^2

$$w_1(t) = \sum_{z_{\min} \leq i \leq T_k} p(i)$$

$$w_2(t) = \sum_{T_{k+1} \leq i \leq z_{\max}} p(i)$$

$$u_1(t) = \sum_{z_{\min} \leq i \leq T_k} ip(i) / w_1(t)$$

$$u_2(t) = \sum_{T_{k+1} \leq i \leq z_{\max}} ip(i) / w_2(t)$$

$$\sigma_1^2(t) = \frac{1}{w_1(t)} \sum_{z_{\min} \leq i \leq T_k} (i - u_1(t))^2 p(i)$$

$$\sigma_2^2(t) = \frac{1}{w_2(t)} \sum_{T_k+1 \leq i \leq z_{\max}} (i - u_2(t))^2 p(i) \quad (14)$$

Step3. 计算类内方差 σ_i^2 , 类间方差 σ_0^2 , 总体方差 σ_i^2

$$\begin{aligned} \sigma_i^2 &= w_1(t)\sigma_1^2(t) + w_2(t)\sigma_2^2(t) \\ \sigma_0^2 &= w_1(t)w_2(t)(u_1(t) - u_2(t))^2 \\ \sigma_i^2 &= \sigma_i^2 + \sigma_0^2 \end{aligned} \quad (15)$$

Step4. 计算 S_k

Step5. 终止条件判断: 若 $S_k < S_{k-1}$, 迭代结束, 此时的阈值为最佳阈值。否则计算新阈值 $T_{k+1} = (u_1(t) + u_2(t)) / 2$, 转至 Step2。

试验结果表明, 基于最大类间方差法能不受灰度值的线性变化和平移变化的影响, 对某些导致平均方差有线性变化和平移变化的干扰也不会影响阈值的求取。

4 实验结果

笔者分别针对原始 rice 图像和加入高斯白噪声后的含噪图像(噪声方差为 0.05), 采用传统 Canny 算子和改进算子进行实验对比。实验使用 MatLab7.0, 在原始 Canny 算法的基础上, 加入非线性滤波 ($t=10$)、 3×3 邻域梯度幅值计算以及阈值选取的相关代码, 结果如图 1 到图 9 所示。

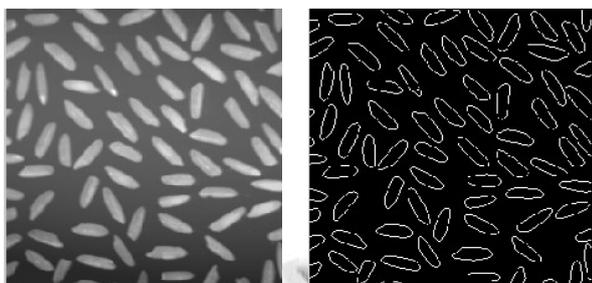


图 1 原始图像 图 2 传统 Canny 算子提取结果

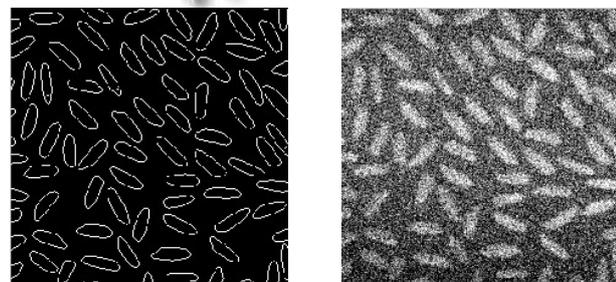


图 3 改进 Canny 算子提取结果 图 4 加入高斯噪声图像

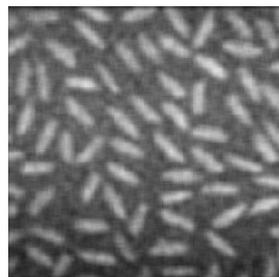


图 5 噪声图像高斯滤波后结果

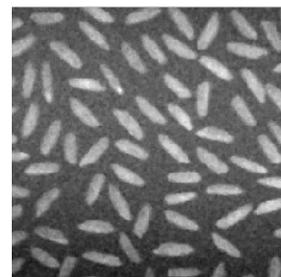


图 6 噪声图像非线性滤波后结果

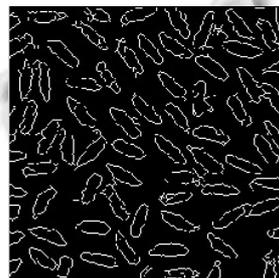


图 7 噪声图像传统 Canny 算子提取的结果



图 8 噪声图像非线性滤波后 Canny 算子提取的结果

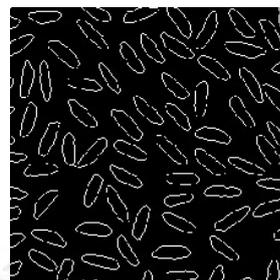


图 9 噪声图像本文改进的结果

对于原始的 rice 图像, 传统的 Canny 算子在边缘提取上效果较好(见图 1), 改进的算法对边缘的定位精度较高(见图 2)。但是现实中不受噪声污染的图像是很少的, 而传统 Canny 算子对受噪图像的边缘提取效果一般。

对于含噪声的 rice 图像, 传统的高斯滤波会造成图像过度平滑, 它虽然在一定程度上抑制了噪声, 但同时也减弱了边缘信息, 使图像变得模糊(见图 5), 这会对以后的边缘提取产生很大的不利影响。改进算法中所采用的非线性滤波则可以对噪声图像有很好的预处理效果, 图像整体平滑效果较好, 同时图像边缘信息也得到了加强, 如图 6 所示。传统 Canny 算子提取边缘信

(下转第 191 页)

特征更加突出,这对于网格后续的特征提取、有限元分析等操作都十分有利。本文算法局限性是常数 ρ 和 β 的选择,现在还不能根据原始网格的特征自动设置,只能依靠计算结果做相应调整。但是根据实验结果,我们发现 β 取值于0到1之间时可以获得相对满意的结果,当 β 越大时,特征区域越平整,这时只对原始网格中细小的边界进行修复,相反,当 β 逐步减小时,模型中主要的边界也得到了修复。所以根据原始模型的大小、形状和网格特征等信息自动确定常数 ρ 和 β 的值将通过进一步的研究给出。

参考文献

- 1 王金生,韩臻,施寅.几种经典网格细分算法的比较.计算机应用研究,2004,(6):139-141.
- 2 聂磊,朱松.基于双边过滤的网格光顺法.计算机工程与设计,2008,9(2):451-453.
- 3 刘胜兰,周儒荣,聂军洪,周来水.主曲率均匀的网格光顺.2004,27(1):80-84.
- 4 刘胜兰,周儒荣,张丽艳.三角网格模型的特征线提取.计算机辅助设计与图形学报,2003,15(4):444-448.
- 5 Wang CCL. Incremental reconstruction of sharp edges on mesh surfaces. Computer Aided Design, 2006,38(6):689-702.
- 6 Sun XF, Rosin PL, Martin RR, et al. Fast and effective feature-preserving mesh denoising. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007,13(5):925-938.
- 7 Taubin G. A Signal Processing Approach to Fair Surface Design. Proc. of the SIGGRAPH'95, Los Angeles, 1995. 351-358.
- 8 Attene M, Falcidieno B, Rossignac J, et al. Edge-sharpener: Recovering Sharp Features in Triangulations of Non-adaptively Re-meshed Surfaces. Proc. of the Eurographics Symposium on Geometry Processing. Aachen, Germany, 2003:62-71.
- 9 Shen JG, Chen ZY. Mesh sharpening via normal filtering. Zhejiang Univ Sci A, 2009,10(4):546-553.
- 10 聂军洪,周来水,刘胜兰.基于特征修复的网格模型光顺算法研究.机械科学与技术,2004,23(1):110-112.

(上接第209页)

息含有较多的噪声以及对边缘线型连接程度一般(见图7),而采用非线性滤波平滑后提取的边缘信息,显著的减少了噪声,如图8。在非线性滤波的基础上,改用 3×3 邻域计算梯度幅值和最大类间方差法选取阈值,在去除噪声、定位精度、边缘信息保存方面效果更好,如图9。

5 结论

本研究通过对传统Canny算子进行改进,采用了非线性扩散滤波和 3×3 邻域的梯度幅值计算以及最大类间方差法选取阈值,实验表明改进算法在群体米样图像边缘提取中,解决了传统Canny边缘检测算法存在的问题,既有效抑制了图像中的噪声,又很好地保护了边缘细节,优于传统Canny算法的性能。

参考文献

- 1 Liang LR, Looney CG. Competitive fuzzy edge detection. Applied Soft Computing, 2003,2:123-137.
- 2 Canny JA. Computational approach to edge detection. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,6:679-698.
- 3 Bao P, Zhang L. Canny edge detection enhancement by scale multiplication. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005,9:1485-1490.
- 4 张小洪,杨丹等.基于Canny算子的改进型边缘检测算法.计算机工程与应用,2003,3(7):113-114.
- 5 张宇伟,王耀明,等.基于小波变换的算子边缘检测算法.上海师范大学学报,2006,3(7):35-38.
- 6 余洪山,王耀南,等.一种改进型Canny边缘检测算法.计算机工程与应用,2004,20(3):27-29.
- 7 韦海萍,赵保军,唐林波,等.Canny算法的改进及其硬件的实现.光学技术,2006,32(2):263-266.
- 8 任宪忠,马小愚.农产品粒形识别研究进展及其在工程中的应用现状.农业工程学报,2004,20(3):276-280.
- 9 Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990,7:629-639.
- 10 Gilboa G, Zeevi YY, Sochen NA. Forward and backward diffusion processes for adaptive image enhancement denoising. IEEE Trans. on Image Processing, 2002,7:689-703.