

基于改进 Canny 算子与图像形态学融合的边缘检测方法

赵洁, 李玮, 郝志鹏, 彭慧卿

(天津城市建设学院 电子与信息工程系, 天津 300384)

摘要: 传统 Canny 算法采用高斯滤波会造成图像的过度光滑, 容易导致缓变边缘的丢失, 而且梯度幅值的计算方法没有充分考虑到 3×3 邻域内周围像素对中心像素的影响。针对上述存在的问题与不足, 结合小波融合技术的优势, 提出了一种基于改进 Canny 算子与图像形态学融合的边缘检测方法, 利用改进的 Canny 算子和图像形态学分别对图像进行边缘检测, 然后应用小波融合技术把两种方法检测出来的边缘进行图像融合, 得到最终的图像边缘。仿真结果表明, 该算法具有较好的抗噪能力, 有效地提高了边缘检测的准确性和完整性。

关键词: Canny 算子; 图像形态学; 边缘检测; 图像融合

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)10-0044-04

Image edge detection based on improved Canny operator and image morphology

Zhao Jie, Li Wei, Hao Zhipeng, Peng Huiqing

(Department of Electronics and Information Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: The traditional Canny algorithm uses the gaussian filter, however the gaussian filter will create the image excessively smoothly, moreover easy to create the loss of the edges which change slowly. Moreover, in the traditional Canny operator the computational method of gradient magnitude has not considered the influence of pixels around on the central pixel in the 3×3 neighborhood. In view of the above existence's problem and the insufficiency, with the superiority of wavelet fusion technology, this article proposes a method for image edge detection based on the image fusion of improved Canny operator and image morphology. The method applies the improved Canny operator and the image morphology separately to make the image edge detection, then does image fusion of the two results that produced by those two detecting method using the wavelet fusion technology to obtain the final edge-image. The results of simulation show that the algorithm has better anti-noise ability and enhances the accuracy and the integrity of edge detection effectively.

Key words: Canny operator; image morphology; edge detection; image fusion

边缘检测是图像分割、目标区域识别和特征提取等数字图像分析领域中的重要技术, 目前已经成为机器视觉研究领域最活跃的热点课题之一。传统边缘检测方法包括 Roberts 算子、Sobel 算子等一阶微分算子, 以及 Laplacian 算子、LOG 算子等二阶微分算子^[1]。这类算法以满足一阶导数极大值点或者二阶导数过零点作为图像的候选边缘点, 通过人为设定的全局阈值作为评价标准去除噪声与弱边缘点, 将梯度值小于阈值的候选边缘点删除。由于微分运算对噪声比较敏感, 抗噪声性能差, 提取的边缘不够精细, 因此在实际应用中受到了限制^[2]。对于边缘检测算子性能优劣, Canny 提出了三个评价准则^[2]: 高

信噪比准则、定位精准准则和单一边缘唯一响应准则, 并据此提出了 Canny 边缘检测算子。实际应用证明, Canny 算子具有较好的边缘检测效果, 因此迄今为止一直被广泛应用。

近年来, 很多学者都提出了基于 Canny 算子的改进算法, 但大多数都是针对如何解决自适应确定双阈值的问题^[3-5]。传统 Canny 算法采用高斯滤波器消除图像噪声, 不仅会造成图像的过度光滑, 而且容易造成缓变边缘的丢失, 这样会导致复杂图像的弱边缘无法检测。另外, 传统 Canny 算子中梯度幅值的计算方法没有充分考虑到 3×3 邻域内周围像素对中心像素的影响。针对上述

问题与不足,结合小波融合技术的优势,本文提出了一种基于改进 Canny 算子与图像形态学融合的边缘检测方法。仿真结果表明,该算法有效地提高了边缘检测的准确性和完整性。

1 传统的 Canny 边缘检测算法

1.1 高斯平滑滤波

Canny 算子首先采用二维高斯函数构造滤波器,分别按行和列对原始图像进行卷积运算,得到平滑图像 $I(x,y)$:

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

其中, σ 为高斯函数的均方差,控制着平滑程度。

1.2 计算梯度的幅值和方向

Canny 算法一般采用 2×2 邻域内一阶偏导的有限差分来近似计算平滑后的图像 $I(x,y)$ 的梯度幅值和方向。 x 与 y 方向的偏导数阵列 $P_x(i,j)$ 和 $P_y(i,j)$ 分别为:

$$P_x(i,j) = [I(i,j+1) - I(i,j) + I(i+1,j+1) - I(i+1,j)] / 2$$

$$P_y(i,j) = [I(i,j) - I(i+1,j) + I(i,j+1) - I(i+1,j+1)] / 2$$

1.3 对梯度幅值的非极大值抑制

非极大值抑制的目的是找到 $I(x,y)$ 中所有可能的边缘点,基本思想是使一个 3×3 邻域作用于梯度幅值阵列 $M(i,j)$ 的所有点,如果邻域中心点的梯度幅值 $M(i,j)$ 比沿梯度方向上的两个相邻点幅值大,则将当前的邻域中心点判别为可能的边缘点,否则将 $M(i,j)$ 赋值为零,判别为非边缘点。

1.4 双阈值确定与边缘连接

Canny 算子对非极大值抑制的子图像分别使用高低两个阈值 τ_h 和 τ_l ,且 $\tau_h \approx 2\tau_l$,从而得到两个阈值边缘图像 $T_h(i,j)$ 和 $T_l(i,j)$ 。双阈值算法要在 $T_h(i,j)$ 中把边缘连接成轮廓,当到达轮廓的端点时,就在 $T_l(i,j)$ 的 8-邻域位置寻找可以连接到轮廓上的边缘,这样算法将不断地在 $T_l(i,j)$ 中检测边缘,直到将 $T_h(i,j)$ 中所有的间隙连接起来。

2 改进的 Canny 算法

2.1 自适应中值滤波的图像平滑方法

中值滤波是一种非线性滤波方法,可以克服线性滤波器(如高斯滤波)给图像带来的边缘模糊,它能在滤除噪声的同时很好地保持图像边缘。本文采用的是自适应中值滤波方法,对于密度较大的脉冲噪声,它比传统的中值滤波方法更能有效地抑制滤波造成的边缘模糊问题,保护图像边缘细节。设 f_{ij} 为图像点 (i,j) 的灰度, A_{ij} 为中值滤波的当前工作窗口, f_{\min} 、 f_{\max} 和 f_{med} 分别为 A_{ij} 中的灰度最小值、最大值和中值, A_{\max} 为允许最大窗口。则自适应中值滤波算法的基本步骤如下^[6]:

(1) 若 $f_{\min} < f_{\text{med}} < f_{\max}$,则转至步骤(2),否则增大窗口 A_{ij} 的尺寸。若 A_{ij} 的尺寸小于 A_{\max} 的尺寸,则重复步骤(1),否则输出 f_{ij} ;

(2) 若 $f_{\min} < f_{ij} < f_{\max}$,则输出 f_{ij} ,否则输出 f_{med} 。

2.2 改进的 8-邻域梯度幅值计算方法

由于图像边缘可能以任意角度通过像素阵列,因此通过分别计算平滑后图像 $I(x,y)$ 的 3×3 窗口中心像素 x

方向、 45° 方向、 y 方向、 135° 方向的一阶偏导数有限差分均值来确定像素点的梯度幅值,充分考虑到各个方向对中心点梯度幅值的影响,最大限度地减少误差。借鉴于 Sobel 算子,这 4 个方向上的梯度算子如图 1 所示,对邻域中心点最近的像素进行了加权,增强了抑制噪声的效果。

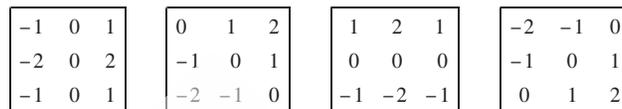


图 1 3×3 窗口中的梯度算子

3×3 窗口中心像素点的梯度幅值 $M(i,j)$ 和梯度方向 $\theta(i,j)$ 的计算如下:

$$M(i,j) = [P_x^2(i,j) + P_{45}^2(i,j) + P_y^2(i,j) + P_{135}^2(i,j)]^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta(i,j) = \arctan[P_y(i,j) / P_x(i,j)]$$

3 图像形态学边缘检测原理与算法

3.1 图像形态学基本运算

图像形态学的基本思想是利用一个具有一定形态的称为结构元素的“探针”收集图像的信息,当探针在图像中不断移动时,便可度量和提取图像中对应形状间的相互关系以达到图像分析和识别的目的^[6]。图像形态学的基本运算包括灰度膨胀 $f \oplus b$ 、灰度腐蚀 $f \ominus b$ 、灰度开运算 $f \circ b$ 和灰度闭运算 $f \bullet b$ 。

3.2 形态学边缘检测算子

传统的形态学边缘检测算子的基本思想是对原始图像做形态学梯度处理,使输入图像灰度变化更加尖锐,进而检测到图像边缘。借助上述各种形态学基本运算,常用的形态学梯度 MG 具有以下几种表示形式:

$$MG_1(f) = (f \oplus b) - f$$

$$MG_2(f) = f - (f \ominus b)$$

$$MG_3(f) = (f \oplus b) - (f \ominus b)$$

$$MG_4(f) = \min\{[(f \oplus b) - f], [f - (f \ominus b)]\} \quad (1)$$

4 小波的融合技术

图像融合是将同一对象的两幅或更多幅图像合成为一幅图像,以获取对同一场景的更为精确、更为全面、更为可靠的图像描述。小波变换是图像的多尺度、多分辨率分解,它可以聚焦到图像的任意细节。基于小波变换的图像融合的基本原理如下^[7-8]:如果一个图像进行 L 层小波分解,将得到 $(3L+1)$ 层子带,其中包括低频的基带 C_j 和 $3L$ 层的高频子带 D^h 、 D^v 和 D^d 。用 $f(x,y)$ 代表原始图像,记为 C_0 ,设尺度系数 $\Phi(x)$ 和小波系数 $\psi(x)$ 对应的滤波器系数矩阵分别为 H 和 G ,则二维小波分解算法可以描述为:

$$\begin{cases} C_{j+1} = HC_j H^T \\ D_{j+1}^h = GC_j H^T \\ D_{j+1}^v = HC_j G^T \\ D_{j+1}^d = GC_j G^T \end{cases} \quad j=0,1,\dots,L-1 \quad (2)$$

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

其中, j 表示分解层数; h 、 v 、 d 分别表示水平、垂直、对角分量; H^T 和 G^T 分别是 H 、 G 的共轭转置矩阵。小波的重构算法为:

$$C_{j-1} = H^T C_j H + G^T D_j^h H + H^T D_j^v G + G^T D_j^d G \quad (3)$$

5 基于图像融合的边缘检测方法

本文提出的基于图像融合的边缘检测算法流程如图 2 所示, 具体实现过程如下:

(1) 对采用改进的 Canny 算子进行边缘检测: ①采用 3×3 窗口的自适应中值滤波进行图像平滑; ②采用改进的 8-邻域梯度幅值方法计算梯度的幅值和方向; ③对梯度幅值应用非极大值抑制; ④用双阈值算法检测和连接边缘。

(2) 采用式 (1) 的形态学边缘检测算子进行边缘检测, 结构元素为半径为 3 的圆盘。

(3) 将上述得到的两幅边缘图像应用小波的融合技术进行图像融合: ①对两幅边缘图像进行三层二维 DWT 分解, 得到图像的低频分量和高频分量; ②取两幅图像的低频和高频分量的平均值进行融合; ③经过小波逆变换重构融合后的边缘图像。

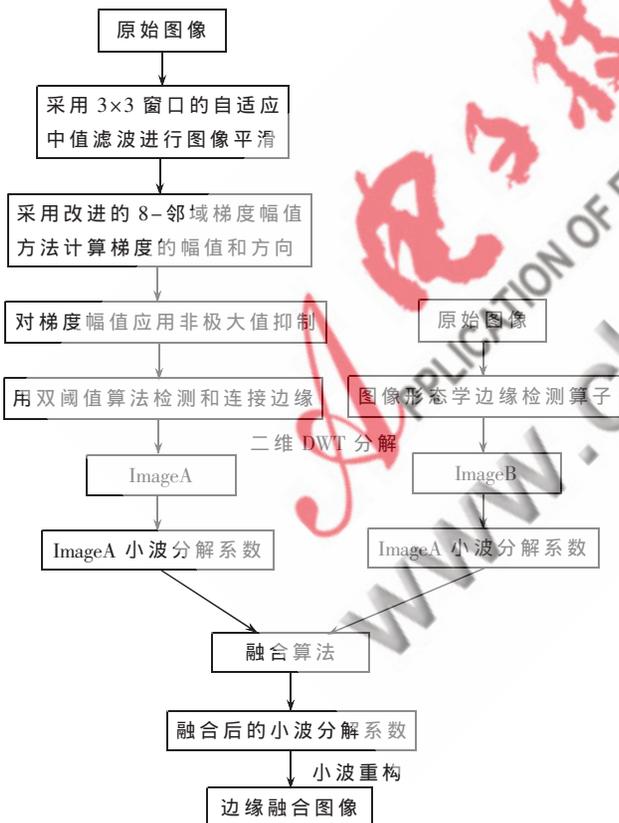


图 2 本文算法流程图

6 实验结果及分析

实验所用 PC 机配置为: AMD Sempron 3200+CPU, 1GB 内存, 集成显卡, 仿真实验采用 Matlab7.0 编程。选取加入 1% 椒盐噪声的 Lena 灰度图像作为测试图像, 分别用传统 Canny 算法和本文提出的融合算法进行边缘检测,

实验结果如图 3~图 6 所示, 算法运算时间及相应参数如表 1 所示。



图 3 含 1% 椒盐噪声 Lena 图像

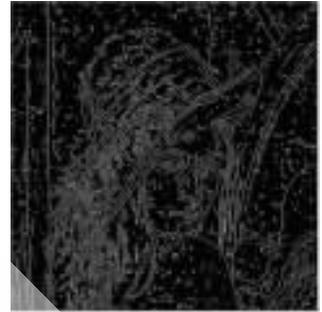


图 4 传统 Canny 算子检测结果



图 5 改进的 Canny 算子检测结果



图 6 改进 Canny 算子与图像形态学融合算法检测结果

表 1 算法运算时间的比较

参数		CPU 运算时间/ms
传统 Canny 算法	$\sigma=0.3 \quad \tau_h=20 \quad \tau_l=8$	42
本文算法	$\sigma=0.3 \quad \tau_h=20 \quad \tau_l=8$	50

由图 4、图 5 比较可知, 传统 Canny 算子对椒盐噪声非常敏感, 而改进的 Canny 算子具有较强的噪声抑制能力, 并且保持了 Canny 算子检测边缘清晰连贯的优势, 兼顾了平滑噪声和抑制假边缘的需要; 由图 5、图 6 的检测结果比较可知, 本文提出的融合算法丰富了部分灰度变化缓慢的局部边缘细节信息, 具有更好的抗噪能力和细节保留能力, 可以检测出比较完整并且连续的边缘, 使边缘检测结果有明显改善。从表 1 的运算时间可知, 本文算法与传统 Canny 算法的所需时间相当, 在提高检测效果的同时没有明显降低检测效率。

本文结合小波融合技术的优势提出了一种基于改进 Canny 算子与图像形态学融合的边缘检测方法, 仿真实验表明该算法检测提取的图像边缘包含了比原始图像更加丰富的边缘细节和更加完整的轮廓信息, 提高了边缘定位的精度及准确度, 兼顾了平滑噪声和抑制假边缘的需要, 检测出的边缘连续性好, 是一种有效的边缘检测方法。

参考文献

- [1] 孙即祥. 图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] CANNY J. A Computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intell-

- igence, 1986, 8(6): 679-698.
- [3] 黄剑玲, 邹辉. 一种精确的自适应图像边缘提取方法[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(9): 53-55.
- [4] 雒涛. 改进的自适应阈值 Canny 边缘检测[J]. 光电工程, 2009, 36(11): 106-111.
- [5] 王卫星. 一种基于最大类间后验概率的 Canny 边缘检测算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 962-965.
- [6] 何明一, 卫保国. 数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [7] 张德丰. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [8] 陈浩, 王延杰. 基于小波变换的图像融合技术研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(5): 39-41.
(收稿日期: 2010-11-08)

作者简介:

赵洁, 男, 1984 年生, 硕士, 助教, 主要研究方向: 图像处理、模式识别和嵌入式系统。

李玮, 女, 1972 年生, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 计算机应用。

郝志鹏, 男, 1980 年生, 讲师, 主要研究方向: 计算机应用。

