

形态学和 Otsu 方法在 Canny 边缘检测算子中的应用

韩慧妍, 韩 燮

(中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 传统的 Canny 边缘检测算子在高斯滤波方差和滞后阈值的选择上需要人工指定, 不具备自适应能力. 高斯滤波方差影响图像的去噪和边缘保持效果, 用形态学平滑代替高斯滤波, 可以保留边缘信息并去除噪声的影响; 滞后阈值影响虚假边缘现象的强弱和真实边缘的连续性, 利用 Otsu 方法对阈值进行自适应设定, 使检测出的边缘更加连续并减少虚假边缘的存在. 实验结果表明, 对传统的 Canny 算子有一定程度的改进.

关键词: 边缘检测; Canny 算子; Otsu 方法; 形态学平滑

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0146-04

Application of Morphology and Otsu Method in Canny Edge Detection Operator

HAN Hui-yan, HAN Xie

(College of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The traditional Canny edge detection operator requires human intervention, does not have the adaptive ability in the variance of Gaussian filtering and the lag threshold. The variance affects the edge preserving and denoises ability effect. Morphological smoothing replaces Gaussian filtering, can not only maintain the edge information but also reduce noise impact. The lag threshold affects degree of the fake edges phenomenon and continuity of the real edges, Otsu method can specify the threshold adaptively, the edge detected is more continuous, and can decrease the false edges. With the experimental results, it has a certain degree of improvement on traditional Canny operator.

Key words: edge-detection; Canny operator; Otsu method; morphology smoothing

1 引言

边缘检测是图像处理和计算机视觉中, 尤其是特征提取中的一个研究领域. 边缘点是信号“对比度较强”的地方, 表现为图像局部灰度的不连续性, 也就是一阶微分极大值点或二阶微分过零点. 传统的边缘检测算子对噪声较为敏感, Canny 将边缘检测问题归结为检测图像梯度函数的极大值问题, 提出了边缘检测的 3 条准则^[1-2]. Canny 算子求解高斯函数的一阶微分, 是对图像信噪比与边缘定位之间取得较好平衡的最优逼近算子, 具有较好的抗噪性能和精度^[3]. 但是, 高斯滤波器的方差以及滞后阈值的

选择需要人工指定, 不具有适用性和实时性. 本文将形态学平滑和 Otsu 方法引入到 Canny 算子中, 以改善其不足.

2 Canny 边缘检测算子

传统的 Canny 算子包括四步: 首先采用高斯滤波函数对图像去噪; 用一阶偏微分计算图像的梯度幅值和梯度方向; 对梯度幅值进行非极大值抑制, 保留局部梯度值最大的点; 最后采用双阈值方法检测(去除假边缘保留真边缘)并连接边缘^[4].

2.1 图像去噪

对图像进行去噪采用的高斯滤波函数为

收稿日期: 2011-06-07; 修回日期: 2011-08-10

基金项目: 山西省自然科学基金(2010011023-1)

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

由于将二维滤波器模板分解为两个一维卷积模板,两个一维卷积与一个二维卷积的效果相同,同时还能减少计算量,因此计算图像在 x 和 y 方向上的一阶偏微分:

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

$$G_y = \frac{\partial G(x, y)}{\partial y} = -\frac{y}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\pi\sigma^2}\right) \quad (3)$$

式(3)中, σ 为高斯滤波器的方差,也就是空间尺度系数,该值的大小控制图像平滑的程度. 将式(2)和式(3)分别与图像 $f(i, j)$ 做卷积计算,将会得到去噪后的图像. 经过处理,边缘就成为数据岭.

$$P(i, j) = G_x * f(i, j) \quad (4)$$

$$Q(i, j) = G_y * f(i, j) \quad (5)$$

2.2 计算梯度幅值和方向

利用第一步的结果来计算图像每个像素点的梯度幅值 S 和梯度方向 θ :

$$S(i, j) = \sqrt{P^2(i, j) + Q^2(i, j)} \quad (6)$$

$$\theta(i, j) = \arctan\left(\frac{Q(i, j)}{P(i, j)}\right) \quad (7)$$

2.3 非极大值抑制

为了得到定位精确和细化的边缘,去噪后的图像要进行非极大值抑制. 其实质是找到边缘强度数据中的最高点. Canny 算子利用边缘方向信息来处理,验证所有点是否是峰值. 假设有一个 3×3 的区域,其中心像素点记为 M ,用 M 点的梯度值与沿着梯度方向的两个像素做对比,如果中心点的梯度值比 8 邻域范围内沿梯度方向的两个像素点的梯度值小,则令 M 点的梯度值为零,否则,梯度值保留,处理的结果只是边缘数据顶脊处的那些点,而抑制其他所有点.

2.4 检测并连接边缘

减少虚假边缘数量的典型方法是对梯度直方图使用一个阈值,将所有低于阈值的点的梯度值赋为零值. 滞后阈值处理需要两个阈值,即上限阈值和下限阈值. 当非极大值所定义的边缘点大于上限阈值时,得到一个边缘阈值图像 N_1 ,当非极大值所定义的边缘点大于下限阈值而小于上限阈值时,得到一个边缘阈值图像 N_2 . N_1 也叫强像素边缘图像,其含有较少的伪边缘,但是却有较多间断. N_2 保留的边缘信息较为全面,但是含有较多的假边缘. 通过将 8 连接的弱像素集成到强像素边缘,执行边缘连接. 这样,通过双阈值的作用,去除了虚假边缘,而且使得

边缘较为连续.

2.5 传统 Canny 算子缺陷分析

传统 Canny 算子中的第一步的平滑中的滤波方差 σ 对平滑效果有着决定性的影响^[5], σ 太大,通频带窄,对高频噪声的抑制作用大,避免虚假边缘的检出,同时图像的边缘也被平滑,造成某些边缘点的丢失; σ 太小,通频带宽,可以检测到图像的更高频细节,对噪声的抑制力相对下降,容易出现虚假边缘. 最后一步中的上下限阈值的使用比一个阈值更加灵活,但也有阈值存在的共性问题. 上下限阈值设置的合理与否,直接影响到边缘检测的精度.

传统的 Canny 算子中,对图像容易造成平滑去噪与保持边缘和细节、连续的边缘与出现虚假边缘的矛盾^[6],很难兼顾各方面的需求,高斯方差、上下限阈值这 3 个参数则需要人为设定,不具备自适应性和实时性,使其在图像处理的应用中受到局限.

3 形态学平滑

灰度图像形态学包括膨胀、腐蚀、开、闭运算. 假设 $f(i, j)$ 为一灰度图像, $b(s, t)$ 为形态学结构元素,则形态学运算定义如下所示.

膨胀:

$$f \oplus b = \max\{f(x-s, y-t) + b(s, t)\} \quad (8)$$

腐蚀:

$$f \ominus b = \min\{f(x+s, y+t) - b(s, t)\} \quad (9)$$

开运算:

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (10)$$

闭运算:

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (11)$$

在 Canny 算子中引入图像形态学就是指利用结构元素对图像进行开闭运算,进而达到形态学平滑的目的. 本文采用半径为 2 到 5 的平坦的圆盘型结构元素的结构元素对原始图像进行交替顺序滤波,半径为 2 的圆盘结构元素 B 如下:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

对图像的形态学平滑为: $F_{\text{filtered}} = f \circ B_k \bullet B_k$, ($k=2 \cdots 5$), 其中, F_{filtered} 为平滑降噪后的结果图像. 当 B 的尺度较小时,开运算可以去除比结构元素更小的明亮细节,去噪能力较弱,但是能够保持图像边缘细节信息; B 的尺度较大时,闭运算可以去除比结

构元素更小的暗色细节,去噪能力较强,但会模糊掉很多细节信息.因此,使用开运算和闭运算的方法进行交替顺序滤波,既能去除噪声获得很好的平滑效果,又能保持图像的边缘细节信息.

4 Otsu 方法自适应设定阈值

最大类间方差法(Otsu 方法)是一种自动的非参数非监督的阈值选择法,该方法可以说是自适应计算单阈值的简单高效方法.它基于一种判别式测度准则,最佳的阈值在该测度函数取得最大时得到.在直方图基础上采用最小二乘法计算直方图的零阶和一阶累积矩得出,具有统计意义上的最佳分割阈值.基本思想是:选取的最佳分割阈值应该用该阈值分割得到的两类就具有最好的分离性,类间分离性最好的判据是数理统计意义上的类间特性方差最大或者类内特性方差最小.最大类间方差法具有计算简单、自适应强的优点,成为使用最为广泛的图像阈值自动选取方法之一^[7].

将经过非极大值抑制后的梯度幅值分为 l 个等级,模极大值分为 3 类: C_0 为非边缘像素, C_1 类包含的像素不一定是边缘点, C_2 类为边缘点像素.假设图像的归一化直方图为

$$p_r(r_q) = \frac{n_q}{n} \quad q = 0, 1, 2, \dots, l-1 \quad (12)$$

式中, n 为图像的像素总数, n_q 是灰度级为 r_q 的像素数目, l 为图像中所有可能的灰度级数.假如 C_0 是一组灰度级为 $[0, 1, \dots, k]$ 的像素, C_1 是一组灰度级为 $[k+1, k+2, \dots, m]$ 的像素,而 C_2 是一组灰度级为 $[m+1, m+2, \dots, l-1]$ 的像素, Otsu 方法选择最大类间方差 σ_B^2 的阈值 k 和 m , 类间方差定义为

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2 \quad (13)$$

其中:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sum_{q=0}^k p_r(r_q), \quad \mu_0 = \sum_{q=0}^k q p_r(r_q) / \omega_0 \\ \omega_1 &= \sum_{q=k+1}^m p_r(r_q), \quad \mu_1 = \sum_{q=k+1}^m q p_r(r_q) / \omega_1 \\ \omega_2 &= \sum_{q=m+1}^{l-1} p_r(r_q), \quad \mu_2 = \sum_{q=m+1}^{l-1} q p_r(r_q) / \omega_2 \\ \mu_T &= \sum_{q=0}^{l-1} q p_r(r_q), \\ \sigma_0^2 &= \sum_{q=0}^k (q - \mu_0)^2 / \omega_0, \\ \sigma_1^2 &= \sum_{q=k+1}^m (q - \mu_1)^2 / \omega_1, \end{aligned}$$

$$\sigma_2^2 = \sum_{q=m+1}^{l-1} (q - \mu_1)^2 / \omega_1.$$

式(13)可以写为

$$\sigma_B^2 = \int_0^m (q - \mu_0)^2 p_r(r_q) dq + \int_{m+1}^k (q - \mu_1)^2 p_r(r_q) dq + \int_{k+1}^{l-1} (q - \mu_2)^2 p_r(r_q) dq \quad (14)$$

式(14)对 k 求一阶偏导数,可得到

$$\frac{\partial \sigma_B^2}{\partial k} = (k - \mu_0)^2 p_k - (k - \mu_1)^2 p_k$$

并令其等于零,可以得到

$$2k - \mu_0 - \mu_1 = 0 \quad (15)$$

同理,式(14)对 m 求一阶偏导数,并令其等于零,可以得到

$$2m_1 - \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (16)$$

因此,同时满足式(15)和(16)的一组 m, k 就是所求得的阈值.对于低于下限阈值的点,作为非边缘点滤除,高于上限阈值的点,作为边缘点被保留下来,而介于二者之间的像素,有可能是边缘点,也有可能不是.根据该点模极大值的方向,确定边缘的走向,在与边缘垂直的方向选取这一点的直线邻域,这一点的每一侧为 2 个像素,如果该点的模极大值在邻域中最大,则确定为边缘点,否则为非边缘点滤除,从而实现了双阈值设定的自适应性.

5 实验结果及分析

由以上分析可知,改进的 Canny 边缘检测算法步骤如下:

- (1)对图像做形态学平滑,以减少噪声响应;
- (2)用一阶偏导有限差分计算梯度幅值及方向;
- (3)对梯度幅值进行非极大值抑制,保留局部梯度最大值;
- (4)用 Otsu 阈值法找到最佳的滞后上下限阈值;
- (5)利用阈值检测并连接边缘.

本文采用有噪声的 Lena、building、flower 图像进行对比实验,大小分别为 $256 * 256$ 、 $600 * 600$ 、 $600 * 600$.

从结果可以看出,高斯滤波降低噪声的同时,很多边缘细节也被模糊掉了,这是过平滑现象;形态学平滑在降低噪声的同时,过平滑现象明显减弱,边缘清晰,细节也被保留了下来.从实验结果来看,传统算子检测出的边缘有较多的间断和伪边缘,比如 Lena 图像的帽子、肩膀, building 图像的楼顶、窗户, flower 图像的花蕊等.

通过实验对比分析,改进后的 Canny 边缘检测算法,在噪声抑制、边缘细节保持方面优于传统的 Canny 算子,而且还能够有效减弱伪边缘现象。

6 结束语

本文对传统 Canny 边缘检测算子存在的缺陷,通过分析,用形态学平滑替代经典 Canny 算子中的高斯滤波,使得图像更加平滑,同时保留更多的细节信息;利用 Otsu 方法对阈值进行自适应设定,理论和实验证明,该方法确定的双阈值可以边面人为干扰。检测出的边缘更加连续并减少虚假边缘的存在。提高了传统的 Canny 算子的应用范围和自动性能。

参考文献:

- [1] 杜文亮,刘晓东,吕园园. 基于 C-Canny 算子与灰度空间的彩色图像边缘检测 [J]. 微电子学与计算机, 2010 (4): 17-20.
- [2] 章毓晋. 图像分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 135-156.

- [3] 姜兴乾,李星野,贾淑华. 基于最大熵与小波变换的图像边缘检测算法 [J]. 微电子学与计算机, 2009 (3): 189-191.
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [5] 彭辉,文友先,吴兰兰,等. 采用自适应 Canny 算子的树上柑橘图像边缘检测 [J]. 计算机工程与应用, 2011 (47): 163-166.
- [6] 王佐成,刘晓冬,薛丽霞. Canny 算子边缘检测的一种改进方法 [J]. 计算机工程与应用, 2010 (46): 202-205.
- [7] Zhang Jun, Hu Junlu. Image segmentation based on 2D Otsu method with histogram analysis [C]// International Conference on Computer Science and Software Engineering. [s. l]: IEEE, 2008: 105-108.

作者简介

韩慧妍 女, (1980—), 博士研究生. 研究方向为信号与信息处理。

(上接第 145 页)

来进行比,可以看出,解决了 FFT 蝶形运算耗费资源多的问题。

参考文献:

- [1] 胡国荣,孙允恭. CORDIC 算法及其应用 [J]. 信号处理, 1991, 12: 229-242.
- [2] Volder J E. The CORDIC trigonometric computing technique [J]. IRE T Electron Computers, 1959 (9): 330-334.

- [3] 于效宇,宋立新,刘艳. CORDIC 流水线结构在 FFT 设计中的改进 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10 (1): 55-57.

作者简介:

李美俊 男, (1983—), 硕士研究生. 研究方向为 ARM 技术的研究。

李光明 男, (1963—), 教授, 硕士生导师. 研究方向为计算机控制与计算机网络。