

广义模糊算子应用于图像边缘检测中参数的选择与经验计算*

周杰 陈武凡

(第一军医大学生物医学工程系 广州 510515)

摘要 图像边缘检测所提出的广义模糊算子,从理论到方法的实现是任何其他传统的边缘检测技术的重大创新。它具有边缘定位精度高,检测速度快等优点。但该算法中参数的设置要凭经验选择,应用上不方便。笔者经过大量实验获取了有关参数计算的公式,使该方法中参数的自动设置成为可能。

关键词 广义模糊算子,分界点参数,可调参数,经验公式

1 引言

对图像进行边缘检测就是通过使用一种轮廓增强处理(如差分处理方法)以清楚地显示图像轮廓的技术。在图像处理中,它对于客体几何特征的提取或实现动态画面的空间配准有着重要意义。

通常意义下的边缘检测是基于一个著名的神经生理学现象,即亮度变化剧烈的地方的干扰和失真的可见度要小于在亮度变化缓慢、“轮廓”信号低的地方的失真可见度。考虑到需要增强的边界或线条可能是任意走向的,所以我们希望算子应是各向同性的。对于灰度图像的边缘检测,这类算子成功的方法很多,如 Sobel 梯度算子,Robert 梯度算子等。但这类经典的边缘检测方法多是依据边缘梯度来提取边缘信息,因此运算量较大,边缘较宽^[1]。

陈武凡首次提出一个全新的边缘检测算法即广义模糊算子(General Fuzzy Operator, GFO)边缘检测法^[2]。该方法将普通模糊性质集合论加以推广为广义模糊性质集,并建立起两个集合间的运算关系,通过分界点等有关参数的选择把边缘信息检测出来。这种检测方法无需就已检测到的边缘点是否共线和角点是否存在等问题进行有关验算。因此,该

算子能够高效快速地检测边缘并高精度地定位边缘(边缘宽度仅有一个像素)。由于其中某些参数仍需凭经验人为确定,广义模糊算子在实际应用推广过程中举步维艰。本文通过利用 GFO 对多幅标准灰度图像的边缘检测实验,找到一个能良好确定有关参数的经验公式,提高了标准图像的边缘检测效率,并使检测效果最佳。

2 广义模糊图像边缘检测

一个灰度级为 L 的 $M \times N$ 的二维灰度图像,可以看作是一个广义模糊单敦构成的阵列。其中,每个元素的广义隶属函数的绝对值表示相对于最大亮度 $L-1$ 的亮度程度,可以记为:

$$X = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N \frac{P_{ij}}{x_{ij}} \quad (1)$$

其中 P_{ij}/x_{ij} , ($-1 \leq P_{ij} \leq 1$) 表示图像中元素 (i, j) ($x_{i,j}$ 为该点灰度值完全拥有或不拥有性质 P_{ij} 的程度。需要特别强调的是,就该方法而言,广义性质集中分界点的选取十分重要。下面介绍应用广义模糊算子对图像边缘进行检测的过程。

首先,利用正弦函数作为映射 T ,将原图像从空间灰度值 $X = \{x_{ij}\}$ 变化成与之对应的广义性质域

* 国家自然科学基金资助项目(39270219)。

收稿日期:1996年10月;收到修改稿日期:1997年2月。

的值 $P = \{P_{ij}\}$, 即有

$$X \xrightarrow{T} P, P_{ij} \in [-1, 1],$$

且 $P_{ij}/x_{ij} \in P, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$
 本文所用的正弦函数形式为

$$P_{ij} = T(x_{ij}) \sin \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{x_{\max} - x_{ij}}{D} \right),$$

$$i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

其中 x_{\max} 为灰度图像的最大灰度级, D 为可调参数, 一般情况下规定 D 的选择为

$$D < \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \quad (3)$$

然后, 利用 GFO 算子将 P 映射为普通性质集 $P' = \{P'_{ij}\}$

$$P'_{ij} = \begin{cases} \sqrt{1 - (1 + P_{ij}^2)}, & -1 \leq P_{ij} < 0 \\ P_{ij}^2 & 0 \leq P_{ij} \leq r \\ \sqrt{1 - \alpha(1 + P_{ij}^2)}, & r < P_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N, r \in [0.1, 0.5] \quad (4)$$

最后, 再进行普通性质集 P' 到二维空间域的逆变换, 即可获得边缘检测图 $X' = \{x'_{ij}\}$:

$$x_{ij} = T^{-1}(P'_{ij}) = x_{\max} + D \left[\frac{\sin^{-1} P'_{ij}}{\pi/2} - 1 \right],$$

$$i = 1, 2, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

以上(2)~(5)式被称为灰度图像边缘检测的广义模糊算子法(GFO)。

显然, 当 $x_{ij} \rightarrow 0$ 时, 由 GFO 操作后, $P_{ij} \rightarrow -1$, $P'_{ij} \rightarrow 1$, 而 $x'_{ij} \rightarrow x_{\max}$, 即低灰阶区域映射到高灰阶区域; 当 x_{ij} 为边缘点时, 此时 (i, j) 点的灰阶大于客体边缘内的邻近灰阶, 并远小于相邻背景的灰阶, 或反之, 经 GFO 作用后, $P_{ij} \rightarrow 0$, $P'_{ij} \rightarrow 0 (P_{ij} > P'_{ij})$, 而 $x'_{ij} \rightarrow x_{\max} - D$; 当 x_{ij} 为较高灰阶, 经 GFO 作用后, $P_{ij} \rightarrow 1$, $P'_{ij} \rightarrow 1 (P_{ij} < P'_{ij})$, 而 $x'_{ij} \rightarrow x_{\max}$, 这说明原图像中的较高灰阶区域进一步增强为高灰阶区域。由此, GFO 检测出原图像的边缘。

3 标准灰度图像 GFO 边缘检测时参数的选择及经验公式

由于 GFO 方法具有实现简单、运算快速和边缘定位精度高等特点, 国外有些科研机构已将该方法应用于许多需要精确定位边缘的领域, 如加拿大 Guelph 土地资源科技大学应用该方法对农田土地卫星遥感图像进行边缘检测, 比利时鹿特丹大学信

息系生化实验室使用该方法定位病灶组织范围。但是, GFO 算法中的有关参数仍需使用者凭经验选用。这给该方法的推广带来了不便。该方法对于标准灰度图像的边缘检测有其特殊之处, 为此笔者通过大量实验找到一个经验公式, 使得该算法对于标准灰度图像能够自动有效地进行边缘检测。

通过对大量标准灰度图像的实验, 可以发现这类图像具有灰度分布均匀, 图像细节信息丰富, 层次分明等特点, 如果按照 GFO 方法中规定的参数(3)式和(4)式选择 D 和 r , 效果并不理想。实验证明, 当 $r = 0.015$ 左右, 并合适的选择参数 D 时, GFO 算法可以有效地提取标准灰度图像的主体轮廓边缘信息; 从实验数据中看出, 参数 D 的选取跟图像本身存在一定的关系, 为此不妨假设 $D = f(x_{\max})$ 。从大量的实验数据表明参数 D 与 x_{\max} 基本符合一定的线性关系, 即

$$D = \text{int}(Ax_{\max} + B) \quad \text{其中 } \text{int}(\cdot) \text{ 表示取整数} \quad (6)$$

因此, 容易由最小二乘法得到 $A = 0.47, B = 28$ 及线性回归的标准误差为 13.9。

依据该经验公式, 在对标准灰度图像进行边缘检测时, 首先可从其直方图中获取 x_{\max} ; 然后由式(6)得到 D 的预测值, r 则只需取在 0.015 附近, 即可立刻进行边缘检测; 最后, 使用者可根据本人的需要略微调整参数值就可得到更为满意的边缘图像。

从(2)式只要参数 D 的选择范围满足条件:

$$1 < \frac{x_{\max} - x_{ij}}{D} \leq 2 \quad (7)$$

就能合理构建广义模糊性质集, 从而正确地对图像边缘进行检测。所以, 即使应用经验公式(6)所求的 D 值超出了文献[2]所定的范围, 仍旧能够在边界点 $r = 0.015$ 附近对 8bit 的标准灰度图像进行有效地边缘特征提取。但是, 如果对更高质量的图像如 12bit 或 24bit 的图像, 可以经分析知道边界点 r 的值应该适当提高, 而参数 D 的选择只要在满足(7)式的条件下, 根据检测的效果灵活地加以调整, 直至达到最佳检测结果。

本文最后所提供的图像, 就是应用该方法对几幅标准图像((a)Lenna, (d)House, (g)医学 DSA 图像)进行边缘检测的实验结果, 并附上相应的用 Sobel 方法检测的结果与之比较。其中, 参数 D 就是由经验公式(6)估算得来的。

4 结论

显然,广义模糊算子(GFO)检测图像边缘信息是一种非常有效的方法。但由于它的有关参数需要凭经验选取,以致在实际应用上带来不便。本文首次在该方法主要参数的选取和预测上做了有益的尝试,并且在有效提取标准灰度图像边缘信息上取得

了明显效果;通过与 Sobel 方法比较,本方法利用经验公式(6)能良好预测到合适的参数 D ,使得提取的边缘更细,定位更精确,从而提高了本方法对边缘进行检测的效率。当然,图像类型多种多样,广义模糊算子有关参数的选择必然有所区别。本文对这类参数的自动选择进行研究,希望会引起同行的兴趣,并共同加以研究完善。



(a) 256×256



(b) $x_{\max} = 241$ $D = 140$ $r = 0.015$



(c)



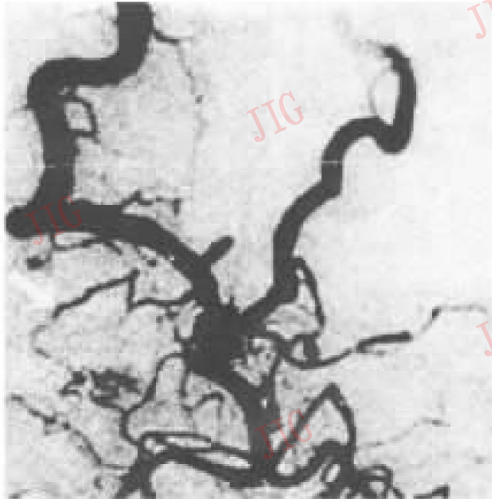
(d) 256×256



(e) $x_{\max}=213$ $D=125$ $r=0.015$



(f)



(g) 300×225



(h) $x_{\max}=255$ $D=160$ $r=0.014$



(i)

图(a), (d), (g)为原图像;图(b), (e), (h)为 GFO 方法检测图;图(c), (f), (i)为 SOBEL 方法检测图

Fig. (a), (d), (g) are original images;
Fig. (b), (e), (h) are edge-detected images by GFO;

Fig. (c), (f), (i) are edge-detected images by SOBEL.

参考文献

- 1 孙即祥, 数字图象处理, 石家庄: 河北教育出版社.
- 2 陈武凡, 鲁贤庆, 陈建军, 等. 彩色图像边缘检测的新算法: 广义模糊算子法, 中国科学(A 辑), 1995, 25(2): 119~224.



周杰 第一军医大学医工系全军重点实验室图像室读硕士学位,主要研究方向为数字图像恢复,编码压缩及图像特征提取。

The Empirical Computing Method of GFO Parameters in Edge Detection

Zhou jie Chen wufan

(Department of Biological Medical Engineering, The First Military Medical University, Guangzhou 510515)

Abstract General Fuzzy Operator(GFO) in edge detection proposed in[1] by Chen wufan is a great innovation in the traditional theory and realized technique of image edge detection. It is superior to any classical edge detection in the higher precise location and the faster edge detection. However, some parameters in the approach have to be empirically selected, which is not convenient in practice. An empirical equation is given in this paper based on experiments. Then, the parameters can be automatically and efficiently selected with this equation.

Keywords: General Fuzzy Operator, Boundary parameter, Adjustable parameter, Empirical equation