

# GFO 在边缘检测中的关键参数定量计算研究

袁 华<sup>1</sup>, 吴效明<sup>2</sup>, 袁支润<sup>2</sup>, 岑人经<sup>1</sup>

(1. 四川大学生物医学工程博士点, 四川成都, 610065; 2. 华南理工大学生物力学研究所, 广东广州, 510640)

**摘 要:** GFO(广义模糊算子)作为一个全新的边缘检测算子, 以其精确的定位、绝对的一对一性能、细腻的边缘等优良特性引起了图像研究人员的注意. 但是, 由于 GFO 的关键参数需要凭经验人为给定, 给 GFO 的推广带来了一定的困难. 本文提出了一种 GFO 应用于边缘检测中的关键参数的定量计算公式. 实验结果表明依据此公式计算而来的参数进行 GFO 边缘检测, 效果良好.

**关键词:** 广义模糊算子; 线性变换; 边缘检测

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)07-0888-03

## The Quantitative Calculation of Key Parameters of GFO Used in Edge Detection

YUAN Hua<sup>1</sup>, WU Xiao-Ming<sup>2</sup>, YUAN Zhi-Run<sup>1</sup>, CEN Ren-jing<sup>2</sup>

(1. Biomechanics Institute, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;

2. Biomechanics Institute, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

**Abstract:** Generalized Fuzzy Operator(GFO) has attracted more and more researchers who are studying edge detection operator characterized by its fine detection, accurate location and unique responses. But, its extension and application are limited because of factitious parameters. In this paper, we present a method which can calculate the key parameters of GFO. The experimental result shows that the method is practical and effective.

**Key words:** generalized fuzzy operator(GFO); linear transform; edge detection

## 1 引言

尽管很多研究人员宣称已经研究出了最佳边缘检测算子, 事实表明, 这些最佳算子并不是对任何具体的图像都表现出最佳性<sup>[1]</sup>. 迄今为止, 边缘检测仍是没有完美解决的计算机视觉中最重要的问题之一. 虽然边缘还没有一个精确的数学定义, 普遍地, 把灰度剧烈跳变的点被定为边缘点, 边缘点的一阶导数取极值, 二阶导数过零; 经典的微分边缘检测算子即是利用的这一特性. 包括一阶导数算子(代表有 Sobel 算子、Prewitt 算子等)和二阶导数算子(代表有 Laplacian 算子、LOG 算子<sup>[2]</sup>等). 二阶算子克服了一阶算子的方向性, 具有各向同性, 但它同时也放大了噪声, LOG 算子先用高斯函数来平滑图像, 再用 Laplacian 算子求出二阶过零点作候选边缘点. LOG 算子因其良好的特性, 一经提出, 即成为研究的热点和许多边缘检测器的设计标准. 但是, LOG 算子也有缺点, 如计算繁重、会产生伪边缘等. 1995 年, 陈武凡等<sup>[3]</sup>提出了全新的边缘检测算子——广义模糊算子(GFO). 它利用 GFO 将前景和背景都映射到高灰度区, 而将介于二者之间的边缘灰度级保留下来. 应用 GFO 检测边缘, 不仅运算速度快, 而且边缘细致,

定位精确. 但是用 GFO 进行边缘检测, 需要人为的给定某些关键参数, 这在一定的程度上阻碍了 GFO 边缘检测算子的推广. 本文提出一种 GFO 边缘检测算子的关键参数计算方法, 针对某一幅具体图像, 定量地计算出 D 值和阈值 T. 实验结果表明: 本文提出的关键参数定量算法是切实可行的.

## 2 原理与方法

### 2.1 GFO 边缘检测原理

根据陈武凡等<sup>[3]</sup>的定义, 论域  $U$  上的广义模糊集合  $A$  表示为:

$$A = \int_{x \in U} \mu_A(x) / x \text{ 或 } A = \{ \mu_A(x), x \in U \} \quad (1)$$

其中  $\mu_A(x) \in [-1, 1]$ , 称为  $U$  上  $A$  的广义隶属度. 把一个灰度级为  $L$  的  $M \times N$  的二维图像看作是一个广义模糊单数构成的阵列, 则它可表征为:

$$X = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N P_{ij} / x_{ij} \quad (2)$$

其中,  $|P_{ij}|$  表示像素点  $(i, j)$  相对于最大亮度  $L-1$  的亮度程度.

GFO 作用在广义模糊集  $A$  上, 产生另一个普通集合  $A'$ , 即:  $A' = GFO(A)$ , GFO 的形式定义如下:

$$\mu_{A'}(x) = GFO[\mu_A(x)] = \begin{cases} \sqrt{1 - [1 + \mu_A(x)]^\beta} & -1 \leq \mu_A(x) < 0 \\ [\mu_A(x)]^\beta & 0 \leq \mu_A(x) \leq r \\ \sqrt{1 - \alpha[1 - \mu_A(x)]^\beta} & r \leq \mu_A(x) \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\beta > 1$ ,  $\alpha > 0$ . 一般地,  $\beta = 2$ ,  $r \leq 0.02$ ,  $\alpha$  则由下式确定:  $\alpha = (1 - r^4)/(1 - r)^2$  为将图像从空间的灰度值映射到广义性质域上的值, 陈武凡等<sup>[3]</sup>定义了一个正弦变换  $T_1$ :

$$P_{ij} = T_1(x_{ij}) = \sin[1 - (x_{\max} - x_{ij})/D] \quad (4)$$

本文定义了一个线性变换:

$$P_{ij} = T_2(x_{ij}) = 1 - (x_{\max} - x_{ij})/D \quad (5)$$

其中  $x_{\max}$  和  $x_{ij}$  分别表示最大灰度级和某一像素点的灰度级, 式(4)中的  $D < (x_{\max} - x_{\min})/2$ , 式(5)中的  $D > (x_{\max} - x_{\min})/2$ . 变换  $T_1$  和  $T_2$  中广义隶属函数  $P_{ij}$  随  $D$  值变化的情况如图 1 所示(最大灰度级假定为 255), 下一节将详细介绍如何根据边缘灰度分布选择变换函数.

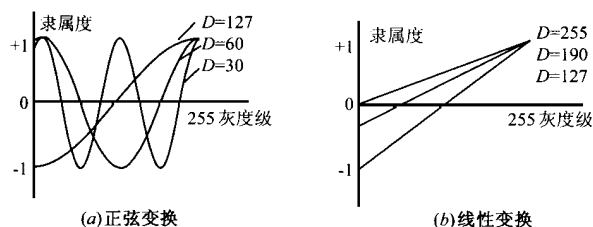


图 1 广义隶属函数随  $D$  值的变化情况

根据文献<sup>[3]</sup>, 前景和背景分别占据了图像的高灰度区和低灰度区(或相反), 而边缘的灰度级介于二者之间. 高灰度区经过变换函数求得  $|P_{ij}|$  较大, 再经 GFO 作用, 使  $P_{ij}$  趋于 1, 然后反变换, 获得高灰度区. 而边缘点所在的中间灰度级, 经变换函数和 GFO 作用后,  $P_{ij}$  趋于零, 反变换后  $x_{ij} \rightarrow x_{\max} - D$ , 由此宣布此点为边缘点.

## 2.2 $D$ 值的定量计算法

周杰等<sup>[4]</sup>人认为  $D$  值与图像的最大灰度级有关, 并由实验数据拟合了一个经验公式:  $D = \text{int}(0.47x_{\max} + 28)$ . 这个公式在某些情况具有应用价值, 但对于千差万别的实际图像有时会产生较大的误差, 因为它只考虑了最大灰度级, 而忽略了边缘灰度级的分布. 基于此, 本文提出了一种定量计算  $D$  值的方法, 适合于任何一幅图像.

边缘大致分为两类: 阶跃状边缘(Step Edge)和屋顶状边缘(Roof Edge), 而图像中的边缘绝大多数是阶跃边缘, 如图 2(a)所示.

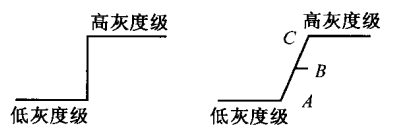


图 2 跳跃边缘的模糊情况

James 等<sup>[5]</sup>认为, 由于光源不可能是点光源, 镜头也只有具有有限的视野, 加之客体的内部往往又是平坦的, 跳跃边缘会模糊

(Blur)为如图 2(b)这样的边缘. 如果用经典的微分算子来检测,  $B$  点和  $C$  点都会被判定为边缘点, 形成宽边现象, 而采用 GFO 边缘检测算子, 在合适的  $D$  值下, 只有  $B$  点会被判定为边缘点,  $C$  点和  $A$  点则被映射到高灰度区, 这形象地说明了 GFO 边缘检测算子精确定位, 边缘细致的优美特性.

从上面的分析已经知道, 只有将边缘点的  $P_{ij}$  映射到零附近, 经 GFO 和反变换后才能被判定为边缘点. 那么, 我们只要从监视器上的图像中点选边缘点, 由此获得边缘点的大致灰度级  $x_{\text{edge}}$ . 因为人的视觉系统对边缘的判断能力远高于任何边缘检测算子, 由人来点选边缘点是切实可行的.  $x_{\text{edge}}$  还可以通过直方图分析来获得, 但很复杂, 这里不再赘述. 再令  $P_{ij} = T_1, 2(x_{\text{edge}}) = 0$ , 由此计算出  $D$  值.

我们分析了大量的实际图像, 发现灰度分布均匀的图像, 边缘点的灰度一般集中于某一个值  $x_{\text{edge}}$  为中心的小区域, 这种情况, 只须采用式(5)的线性变换  $T_2$  来计算广义模糊性质集, 此时  $D$  值由式(6)确定; 而对于一些较复杂的图像, 边缘点的灰度不是集中于某个小区域, 而是集中于两个小区域(甚至更多), 这就需要采用式(4)的正弦变换  $T_1$  求广义模糊性质集, 此时的  $D$  值由式(7)经辗转相除法来确定:

$$D = x_{\max} - x_{\text{edge}} \quad (6)$$

$$D = \frac{x_{\max} - x_{\text{edge}}}{1 - 2 \times k_1} = \frac{x_{\max} - x_{\text{edge}}}{1 - 2 \times k_2} \quad k_{1,2} = 0, \pm 1 \dots \quad (7)$$

采用式(6)和式(7)计算而得的  $D$  值和相应的变换函数, 边缘点被映射到广义模糊性质域的  $[-\varepsilon, +\varepsilon]$ , 再经 GFO 和反变换, 落在  $[x_{\max} - D - \varepsilon, x_{\max} + D + \varepsilon]$  区间上的点被判定为边缘点, 而其它的度区都被作用到了高灰度区. 这正是我们所期望的. 最后将 GFO 边缘检测的过程归纳如图 3.

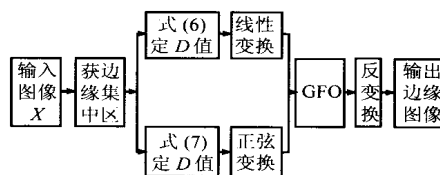


图 3 边缘检测模型

## 3 实例分析

图 4(a) 是一幅  $512 \times 512$  的灰度测试图像, 其构成参照文献<sup>[6]</sup>, 在其上迭加方差为  $\sigma^2 = 20$  的高斯噪声, 信噪比  $SNR = (h/\sigma)^2 = 31.25$ . 由鼠标点击获得其边缘灰度级集中于  $x_{\text{edge}} = 119$ , 最大灰度级为  $x_{\max} = 142$ , 由式(6)算得  $D = 23$ , 图 4(b) 是用线性变换的 GFO 检测到的边缘图, 其中  $r = 0.014$ , 落在区间  $[117, 121]$  上的点被判定为边缘点, 可以看到, GFO 完全从噪声中提取出了六根细致连续的圆形边缘; 图 4(c) 是用 LOG 算子检测到的边缘图, 其中  $\sigma = 1.414$ , 窗口大小为  $11 \times 11$ , 图像中仍残留一定的噪声, 而且具有明显的双边现象. 图 5(a) 是一幅  $512 \times 512$  的支气管动脉与肋间动脉共干的减影图像. 由鼠标点击获得边缘灰度级集中于两个值的小区域,  $x_{\text{edge}1} = 80$ ,  $x_{\text{edge}2} = 110$ , 最大灰度级  $x_{\max} = 155$ , 由式(7), 利用辗转相除法计算得  $D = 15$ . 图 5(b) 是用正弦变

换的 GFO 检测到的边缘图, 其中  $r = 0.2$ , 落在区间  $[139, 141]$  上的点被判定为边缘点, 图中的主要动脉和分支动脉都清晰可见, 有一小部分噪声残留; 图 5(c) 是 LOG 算子检测到的边缘图, 其中  $\sigma = 3$ , 窗口大小为  $13 \times 13$ , 尽管抑噪系数和窗口都加大了, 噪声还是严重地干扰了 LOG 算子的检测性能, 不仅残留大量噪声, 边缘已严重移位, 右边的一段主动脉甚至被当作噪声滤掉了。

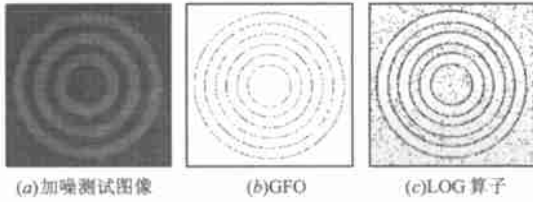


图 4 加噪测试图像边缘检测比较图

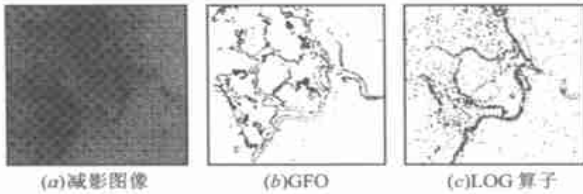


图 5 支气管动脉减影图像边缘检测比较图

总之, GFO 检测出的边缘具有细致、连续的优点, 而且它对噪声具有一定抑制作用, 计算速度也快, 对象图 5(a) 这样具有分散边缘灰度的复杂图像, 也能较好地完成检测任务; 相比之下, LOG 算子除了会产生双边缘外, 运算速度也远慢于 GFO. 在抑噪和边缘定位的矛盾解决中, GFO 的性能要优于 LOG 算子。

#### 4 结束语

应用本文提出的  $D$  值定量计算方法, 不仅可以获得  $D$  值, 同时也取得了获取最后边缘的阈值. 由此检测到的边缘自然地满足 Canny 的边缘检测三准则<sup>[7]</sup>: 精确定位准则、优良的检测准则和边缘点一一响应准则. 本文提出的方法可以减少影响 GFO 边缘检测效果的经验因素, 为 GFO 边缘检测算子的进一步推广打下了一定的基础。

#### 参考文献:

- [1] Michael D Health, Sudeep Sarkar, et al. A robust visual method for assessing the relative performance of edge detection algorithms [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(12): 1338–1359.
- [2] D C Marr, E C Hildreth. Theory of edge detection [A]. Proc. Roy. Soc [C]. London B, 1980. 207: 187–217.
- [3] 陈武凡, 鲁贤庆, 等. 彩色图像边缘检测的新算法——广义模糊算子法 [J]. 中国科学(A 辑), 1995, 15(2): 219–224.
- [4] 周杰, 陈武凡. 广义模糊算子应用于图像边缘检测中参数的选择和经验计算 [J]. 中国图像图形学报, 1997, 2(2,3): 108–112.
- [5] James H Elder, et al. Local scale control for edge detection and blur estimation [J]. IEEE trans. PAMI, 1998, 20(7): 699–716.
- [6] Les Kitchen, et al. Edge evaluation using local edge coherence [J]. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., 1981, SMC(11): 579–605.
- [7] J Canny. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Trans. PAMI, 1986, 8(6): 679–698.

#### 作者简介:



袁 华 女. 1969 年出生于四川成都, 四川大学 98 级博士生. 1991 年毕业于哈尔滨船舶工程学院, 1996 年进入四川大学攻读硕士学位, 1998 年提前攻读博士学位, 主要方向是数字图像处理, 已发表论文 10 多篇。



吴效明 男. 1950 年出生于四川内江. 工学博士. 现为华南理工大学生物力学研究所教授. 主要研究方向为: 生物医学信息检测与处理、医学图像处理. 曾获得重庆科技进步三等奖, 航空航天部科技进步三等奖. 共发表专业学术论文 20 多篇。