

# 用 Sobel 算子细化边缘

陆宗骐 梁 诚

(华东理工大学信息学院, 上海 200237)

**摘要** 提出了一种用 Sobel 算子细化边缘的新方法, 通过引入衰减因子得到不失真的灰阶边缘图 P1, 然后将灰阶边缘图 P1 用 Sobel 算子进行处理, 得到边缘的边缘图 P2, 再用前者减去后者得差值图 P3, 再将 P3 中为负的点改为 0, 用以除去 P3 图中边缘外侧的点, 从而得到边缘较细的边缘图. 对于边缘较陡的部分可直接得到光滑、连续且接近单点宽的边缘, 对于边缘模糊的部分这种过程可以重复多次, 最后也可得到较细的边缘(但不一定连续). 此种方法对于处理其它边缘检测方法得到的边缘也有效. 边缘细化可用于物体边缘的精确定位. 由于结果仍是灰阶图象, 因而可以保留图中幅值较低的边缘, 故还可用于克服阈值选择不当造成的分割错误.

**关键词** 边缘检测 Sobel 算子 边缘细化

中文图法分类号: TP391.4 文献标识码: B 文章编号: 1006-8961(2000)06-0516-05

## Edge Thinning Based on Sobel Operator

LU Zong-qi, LIANG Cheng

(College of Information, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

**Abstract** A new edge thinning method based on Sobel operator is proposed in this paper. A gray edge image (P1) is obtained by introduces a attenuation factor, the gray edge image can also be processed using Sobel operator, then another gray edge image (P2) is get from the previous gray edge image. Another gray edge image (P3) is obtained by subtracting P2 from P1 and the pixels of negative value in P3 are set to zero to eliminate the extra points on both side of the detected edges therefor a image with thinner edge can be obtained. And this procedure can repeat several times to obtain thinner edges (but not necessarily continuous). This method also has effect on the edges that detected by other edge detection methods. Edge thinning can be used to get the exact position of object's edge. This method can not only get fairly thin edge but can also reserve the edges of low step change and this advantage can overcome the segmentation error that due to improperly selected threshold.

**Keywords** Edge detection, Sobel operator, Edge thinning

## 0 引言

在对图象的研究和应用中, 人们往往仅对图象中的某些部分感兴趣, 这些部分通常称为目标或前景, 其余部分则称为背景. 将图象分为目标和背景的操作称为图象分割. 图象分割是由图象处理进到图象分析的关键步骤. 多年来, 图象分割一直得到人们的高度重视, 至今已提出了上千种分割算法. 它们大致可分为阈值法、边缘检测法和区域生长法等几大类<sup>[1]</sup>. 在这些方法中, 人们对阈值法较为重视, 现在还不时有新的方法提出来. 而对于后两种方法则注意较少, 已有的方法基

本上还是 60~70 年代提出的. 究其原因, 是由于阈值法方法比较简单, 且计算量也较少些. 但其缺点是, 除了自适应阈值法外, 其阈值的选取主要是根据灰度分布的直方图, 而很少考虑象素的空间关系. 当图象比较复杂时, 目标与背景就不能简单地用一个阈值来分离. 这时就只有求助于边缘检测法或区域生长法. 而边缘检测法中最为常用的是 Sobel 算子.

Sobel 算子的优点是方法简单、处理速度快, 并且所得的边缘光滑、连续. 其缺点是边缘较粗, 由于处理时需作两值化处理, 故得到的边缘与阈值的选取也有很大的关系. 本文提出的边缘细化方法是通过引入衰减因子而得到不失真的灰阶边缘图, 再用 Sobel 算

子进行细化, 对于边缘较陡的部分可以得到光滑、连续, 且接近单点宽的边缘; 而对于边缘模糊的部分, 这种过程可以重复多次, 也可得到较细的边缘(但不一定连续). 同时, 这种方法还可保留低幅值的边缘. 这样, 既可提高定位精度, 又可得到用其它方法难以得到的模糊边缘和微弱边缘. 而且对用其它边缘检测方法得到的边缘进行处理, 此方法也有效.

### 1 常规 Sobel 算子<sup>[2]</sup>

对于数字图象  $\{f(i, j)\}$ , 常规 Sobel 算子的定义如下: 设

$$A = |(f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)) - (f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1))| \quad (1)$$

$$B = |(f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)) - (f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1))| \quad (2)$$

则

$$S(i, j) = \max(A, B) \quad (3)$$

或

$$S(i, j) = A + B \quad (4)$$

适当选取门限  $TH_s$ , 作如下判断: 若  $S(i, j) > TH_s$ , 则  $(i, j)$  为边缘点.  $\{S(i, j)\}$  为边缘图象, 由于数据溢出的关系, 这种边缘图象通常不直接使用, 而使用的则是由边缘点与背景点构成的图象, 故它为两值图象.

Sobel 算子也可用模板表示(如图 1). 模板中的元素表示算式中相应象素的加权因子.

1	0	-1	-1	-2	-1
2	0	-2	0	0	0
1	0	-1	1	2	1

图 1 Sobel 模板

### 2 灰阶 Sobel 算子

Sobel 算子是边缘检测算子, 故其处理模板中各因子之和为零. 另一方面, 由于正的因子与负的因子之和分别为 4 和 -4, 在极端情况下处理结果可能溢出. 因此, 在实际使用时, Sobel 算子通常用选定的阈值进行两值化, 即处理结果得到的是两值化了的边缘图. 这样其结果就使边缘图中幅值较小的边缘丢失了. 为了克服这个缺陷, 可以引入一个衰减因子  $Scale$ , 用它去

除计算的结果, 用以消除数据溢出的可能, 这样就不再需要进行两值化处理, 而且得到的是不失真的灰阶边缘图, 从而保留了图中所有边缘的数值. 即

$$S(i, j) = \max(A, B) / Scale \quad (5)$$

或

$$S(i, j) = (A + B) / Scale \quad (6)$$

在灰阶边缘图中可看到幅度不等的各种边缘. 其中, 衰减因子  $Scale$  取 4, 它同时也是归一化因子, 即两个灰度层的阶跃, 交界处的处理结果就是它们的灰度差值. 同样, 其它边缘检测算子也有类似情况. 图 2 显示了边缘检测时的溢出现象, 图中 Roberts 算子、Sobel 算子、Kirsch 算子的衰减因子分别取 2、4、15, 边缘图象灰度直方图下方的竖线所指位置为  $256 / Scale$ , 表示不作衰减时, 该数值的上限位置. 本人编制出版的软件<sup>[3]</sup>中, 曾采用了这些衰减因子, 得到的边缘图显示效果良好. 图 3 显示了灰阶图象边缘的细化过程. 其中, 图 3(a) 为原灰阶图

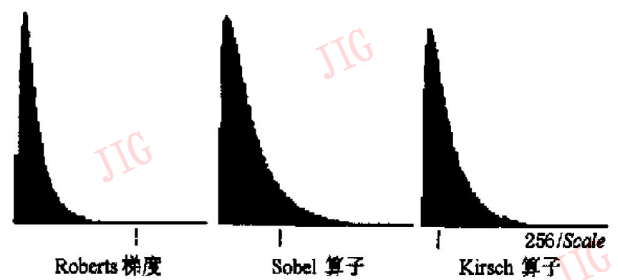


图 2 边缘图象的灰度直方图

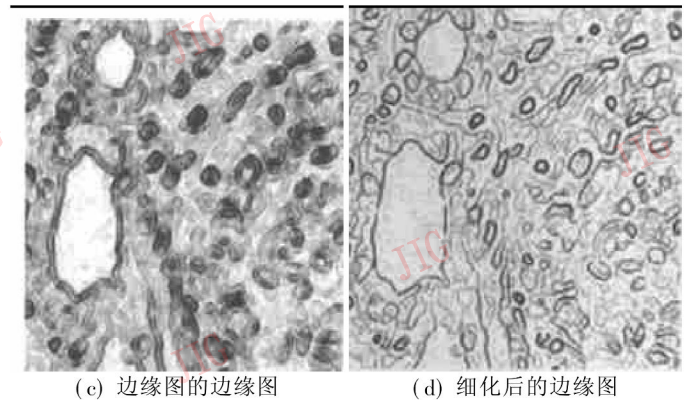
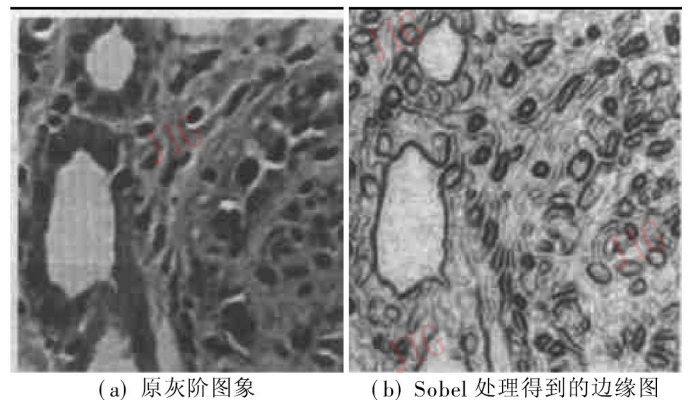


图 3 灰阶图象及处理结果

象,图3(b)是由引入了衰减因子的 Sobel 算子处理得到的灰阶边缘图。

### 3 Sobel 细化

引入灰阶 Sobel 算子后,得到的边缘图仍是灰阶图象,它也可以进一步用 Sobel 算子进行处理,其得到的是边缘的边缘图(见图3(c)).由图3(c)中可以看出,新的边缘图上,在原边缘的两侧得到新的边缘,而中间部分却变成了背景,且它的宽度略小于原边缘.与 Laplacian 边缘增强类似,利用这个特点可以细化原边缘,即将原边缘图减去新边缘图,再将结果中与负的部分对应的边缘变为0,最后得到边缘较细的边缘图,此时边缘的线宽要小于原边缘图,从而达到细化边缘的效果。

边缘细化的原理可用图4来说明.图4(a)表示一个斜坡过渡的阶跃输入的处理过程,其中(i)为原始输入;(ii)为对(i)作 Sobel 处理得到的边缘;(iii)为对(ii)再作 Sobel 处理得到的边缘;(iv)为(ii)减去(iii)所得的结果;再将(iv)中与负值部分对应的边缘点的值变为零,其余部分仍保留(iv)中的值,这样就得到(v).比较(v)和(ii)可以看出,处理后边缘变细了.图4(b)为理想阶跃输入,通过上述处理,其边缘在细化图中消失.由于图象中理想阶跃区域毕竟较少,故对细化结果影响不大。

下面给出一个处理实例,处理步骤如下:

- (1) 先将彩色图象转换成灰阶图象.
- (2) 对灰阶图象作中值滤波,去除噪声.
- (3) 对灰阶图象作带衰减因子的 Sobel 处理,得灰阶边缘图. Sobel 处理采用式(5).

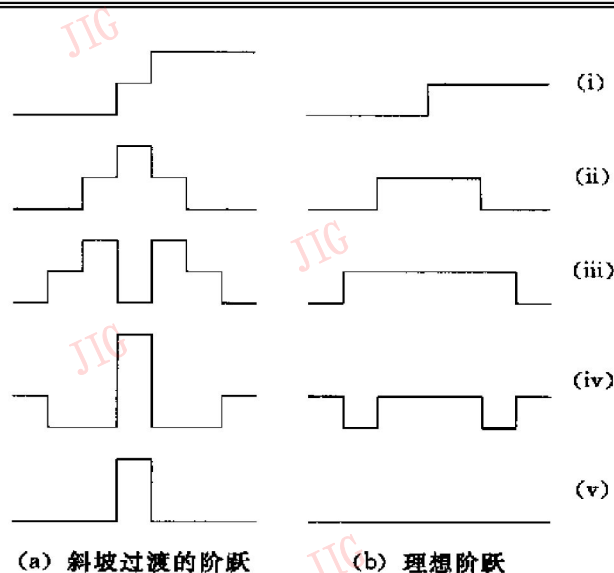


图4 Sobel边缘细化原理图

(4) 对所得灰阶边缘图再作带衰减因子的 Sobel 处理。

(5) 灰阶边缘图减去该 Sobel 处理结果,再将与负值部分对应的边缘点的值改为零,就得到细化了的边缘图。

图3(d)给出了第一次细化的边缘图.图5给出4幅经 Sobel 细化得到的边缘图.它们分别是 Lena 头像、神经细胞、免疫组化细胞和血液中一部分细胞图象.由图5中可以看出,图象中边缘较明显的部分细化后即得到较细的边界线;而边缘模糊的部分则得到强度相近的阴影区域,尚需进一步处理。

采用其它边缘检测算子得到的边缘也可用这种方法进行细化,图6为由 Laplacian 边缘检测得到的边缘图进行细化所得的结果.由图6可以看出,所得边缘比原来要细些,说明此方法对 Laplacian 边缘检测所得边缘也有效。

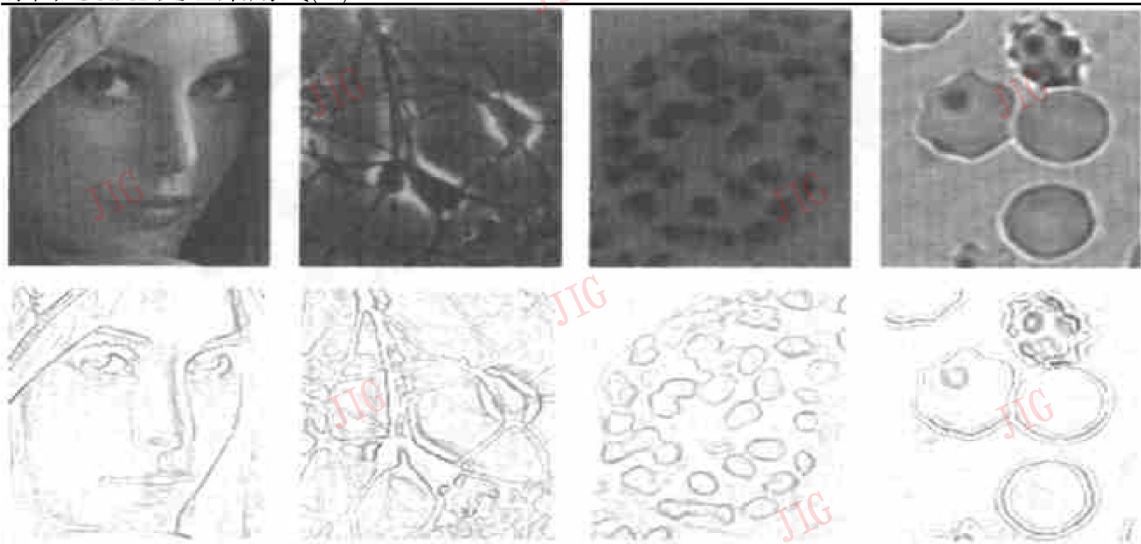


图5 灰阶图象及细化后得到的边缘图



图 6 Laplacian 边缘检测后再边缘细化

## 4 模糊边缘的提取

对于边缘较陡的部分可以直接得到光滑、连续且接近单点宽的边缘; 对于边缘模糊的部分这种过程可以重复多次, 也可得到较细的边缘, 但由于数据衰减较快, 所得边缘不一定连续. 尽管如此, 还是能给出对象较精确的位置.

图 7 给出了多次细化的例子. 图中细胞的边缘都相当模糊, 经 4 次细化后得到了比较理想的结果, 这是用其它方法难以做到的. 为了提高显示效果, 对细化图象还作了增强处理. 图 7 也显示出细化次数对所得边缘质量的关系.

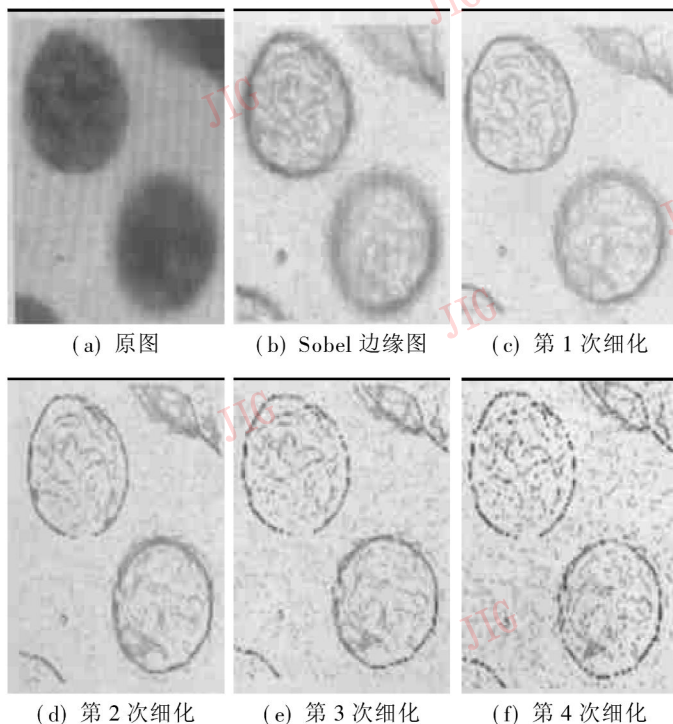


图 7 模糊边缘的提取

## 5 Sobel 边缘细化算子的应用

边缘细化的应用大致可有以下几种情况:

(1) 重叠对象的分离, 如图 8(a) 两值图象上的 3 个细胞无法分割, 而从细化的边缘图(图 8(b)) 中可得到分割所需的边缘信息.

(2) 缺损对象的补齐, 如图 8(c) 两值图象上的血管管壁, 其内侧有缺损, 而从细化的边缘图中(图 8(d)) 可得到补齐的所需边缘信息.

(3) 可补上阈值选取不当而遗漏的对象, 如图 8 细胞和血管壁的边缘图上都多出了一个小颗粒.

(4) 由于边缘以灰度差为分离参数, 且边缘线较细, 故定位较准确, 检测效果比阈值法要好, 这有利于测量精度的提高.

本方法的缺点是处理效果与边缘本身的质量有关, 若边缘质量好, 且分界线较陡, 则效果较好, 反之则较差, 而且还不适用于理想阶跃输入. 这些可从图中看出. 另外, 细化边缘图可能“信息过量”, 从中直接提取边缘也很困难, 最好能与其它特征, 如原灰阶图、阈值图 etc 一起考虑, 可作为它们的补充. 如用阈值方法寻找对象, 再用此方法精确定位.

为具有可比性, 除图 7 外, 本文中的边缘图都采用相同的调色板, 调色板的定义如下:

$$g(i) = 255 - 2i \quad \text{当 } 0 \leq i < 128 \text{ 时};$$

$$g(i) = 0; \quad \text{当 } 128 \leq i < 256 \text{ 时}.$$

图 7 中, 为使较淡的边缘看得清楚, 4 次细化时  $i$  的系数分别取 2、4、8、16.

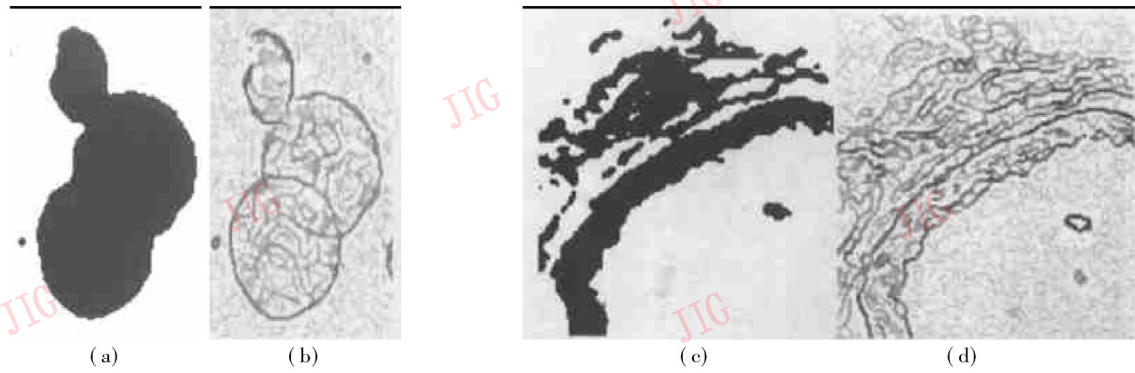


图8 两值化图象的重叠和缺损

### 参考文献

- 1 章毓晋. 图象工程(上册): 图象处理和分析. 北京: 清华大学出版社, 1999. 3.
- 2 徐建华. 图象处理与分析. 北京: 科学出版社, 1992.
- 3 陆宗骐. C语言图象处理编程(软件). 青岛: 青岛出版社, 1999. 7



陆宗骐 1945年生, 1968年毕业于上海工学院仪表系, 1981年毕业于同济大学电气工程系, 获硕士学位. 1982年至今工作于华东理工大学, 现为该校信息学院教授. 研究方向为工程图纸矢量化和医学图象处理.



梁诚 1971年生, 华东理工大学信息学院检测技术与自动化装置博士研究生. 主要研究方向为图象处理、医学图象分析、骨密度分析技术.