

一种改进的 LOG 遥感数字图像边缘提取算法

彭立芹¹, 冯文钊¹, 曾志远²

(1. 石家庄经济学院 资源学院, 河北 石家庄 050031; 2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 边缘提取, 是遥感图像处理的基本工作之一. LOG 算法是一种较常用的边缘提取方法, 但缺点也很明显. 通过去除光照强度影响、寻找空间常数 σ 最佳取值范围以及插值计算精确边缘等方法对 LOG 算法进行改进, 使得边缘提取更加精确和有效.

[关键词] 边缘提取, LOG 算法, 高斯滤波函数, 光照强度

[中图分类号] P283.8, [文献标识码] A, [文章编号] 1672-1292-(2004)04-0047-04

0 引言

边缘是图像局部亮度变化最显著的部分, 是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析的基础^[1,2], 因此边缘提取在遥感数字图像处理中占有十分重要的地位. 人们已经找到了许多边缘检测算法如 Roberts 算法, Sobel 算法, Prewitt 算法等^[2~4]. 这些算法的最大缺点是需要选择恰当的阈值以及检测到的边缘点太多, 导致边缘不精确. 鉴于这种情况, Marr 和 Hildreth 将高斯滤波和拉普拉斯边缘检测结合在一起, 形成了 LOG (Laplacian of Gaussian) 算法. LOG 算法在实际中使用较多, 但是使用 LOG 算法提取边缘容易产生伪边缘——即提取出的边缘在图像上并不存在; 同时如果边缘距离较近, 也会产生边缘之间相互影响, 导致提取边缘错误的情况. 本文通过对 LOG 算法的改进, 大大减少这些问题产生的几率.

1 LOG 算法原理

LOG 算法是利用图像二阶导数的零交叉点来求边缘的算法, 图像一阶导数的局部最大值对应着二阶导数的零交叉点, 如图 1 所示, 但是这种算法对噪音特别敏感, 所以需要在边缘提取前进行噪音滤除, 一般使用二维高斯函数对图像进行去噪音和平滑处理:

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

其中, $G(x, y)$ 是高斯函数. 高斯滤波器对去除服从正态分布的噪音很有效, 其中高斯空间常数 σ 决定了高斯滤波器的平滑程度, 空间尺度远小于 σ

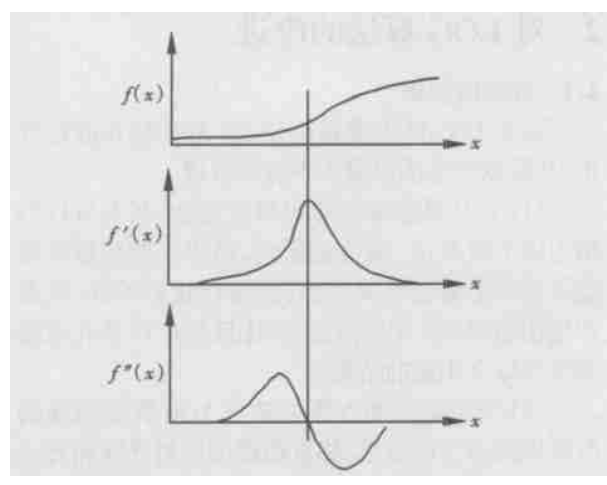


图 1 零交叉点提取边缘原理图

的图像强度变化, 即噪声将被去除. 对图像进行线性平滑, 等同于对图像进行卷积, 设平滑图像为 $g(x, y)$, 则有:

$$g(x, y) = f(x, y) * G(x, y) \quad (2)$$

其中, $f(x, y)$ 是原始图像. 得到平滑的图像后, 就可以使用二阶导数算子提取边缘. 拉普拉斯算子是二阶导数的二维等效式. 函数 $f(x, y)$ 的拉普拉斯算子公式为:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (3)$$

它是各向同性的算子, 对数字图像来讲, 图像 $g(x, y)$ 的拉普拉斯算子为:

$$\begin{aligned} \nabla^2 g(i, j) = & g(i+1, j) + g(i-1, j) + \\ & g(i, j+1) + g(i, j-1) - \\ & 4g(i, j) \end{aligned} \quad (4)$$

根据卷积求导法, 变为:

$$H(x, y) = \nabla^2 [G(x, y) * f(x, y)] \quad (5)$$

整个处理过程可以表示为:

$$H(x, y) = \nabla^2 [G(x, y)] * f(x, y) \quad (6)$$

其中:

$$\nabla^2 G(x, y) = \frac{1}{\pi \sigma^4} \left[1 - \left(\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right) \right] \cdot \exp \left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right) \quad (7)$$

$\nabla^2 G(x, y)$ 即为 LOG 算子. 使用 LOG 算子对图像进行处理后, 就可以提取零交叉点确定边缘了.

LOG 算法的优势在于去除噪音性能好, 提取边缘的精度高, 可以达到像素级; 但缺点也很明显, 第一是容易产生伪边缘, 第二是邻近的边缘之间互相干扰, 提取的边缘可能有误. 同时, 在一些精度要求很高的情况下, 像素级的精度也不能满足要求, 这就需要现有的 LOG 算法进行改进.

2 对 LOG 算法的改进

2.1 改进的依据

要对 LOG 算法进行改进, 首先要对其进行分析, 从缺点产生的原因入手进行改进.

(1) 产生伪边缘的原因极其复杂, 基本可以归结为以下两点: ① 噪音的影响, 由于二阶导数的零交叉点对于噪音十分敏感, 去噪音效果不好, 就会产生伪边缘; ② 光照强度、物体反射率以及光通量等要素综合作用的结果.

(2) 邻近边缘相互影响造成 LOG 算法边缘提取错误的主要原因是: 邻近边缘的反射光线相互干涉造成进入传感器的光强度相互影响, 邻近边缘的成像不清晰, 亮度值差异小, LOG 算子在提取边缘时将两条边缘混作一条边缘对待, 从而造成边缘提取错误.

基于以上的分析, 针对缺点产生的原因就可以对 LOG 算法进行有效的改进了.

2.2 改进的原理

人眼视网膜神经感受视野在反应敏感性的空间组织上近似可以看作是由一个兴奋中心区和一个抑制性周边区组成^[2], 中心区宽度为: $D = 2\sqrt{2}\sigma$, 当 σ 取值不同时, 高斯滤波函数对图像平滑的程度不同. σ 较小时高斯函数可以通过较多的高频分量和细纹理信号, σ 增大时平滑能力增强, 高频分量和细纹理信号通过量下降. 大的轮廓信息较易通过滤波. 一般情况下边缘在相邻像素之间产生, 所以最精确的细节应该在 $D \leq 2$ 时产生, 此时 $\sigma < 1$, 但是当 $\sigma < 1$ 时, 高斯滤波函数对于图像的低通滤波作用极小, 亮度值反差较小的区域不易通过滤波. 当 σ 取值较大时, 对于噪音的抑制作用就加强, 但是一些精细的边缘也就被忽略了, 经过试验当 $\sigma = 1.2 \sim 1.5$ 时, 高斯滤波函数可以通过很精确

的细节, 同时对于亮度值反差较小的区域也有较大的通过性. 对于数字图像来讲 σ 应当大于 0.5, 否则高斯函数的滤波作用就不明显了.

高斯滤波函数半径 $R (R^2 = x^2 + y^2)$ 的选取也对滤波效果有影响, R 越大则平滑效果越好, 通过的细节越少, 反之则通过的细节就越多, 平滑的效果就越差.

LOG 算法以及其它一些边缘提取算法都是直接对图像的亮度值做处理的, 当成像过程中物体各部分光照强度不均匀时, 图像就会在不同光照强度下成像, 光照强度的不均匀会对边缘检测造成影响形成伪边缘, 所以对 LOG 算法的改进就希望从图像中去除光照强度不均匀的影响. 不同的地物具有不同的反射率, 地物边界部分的反射率, 具有较大的变化, 反映在图像上就是边缘^[5]. 所以通过物体的反射率变化来提取图像的边缘是可行和精确的, 而且反射率不会相互干涉, 因此通过反射率来提取边缘, 可以克服 LOG 算法中邻近边缘相互影响的缺点.

首先建立一个遥感图像成像模型^[6]:

$$f(x, y) = f_i(x, y) \cdot f_r(x, y) \quad (8)$$

式中, $f(x, y)$ 为图像, $f_i(x, y)$ 为入射光强度的函数, $f_r(x, y)$ 为物体反射率的函数. 通常认为 $f_i(x, y)$ 为常量, 当 $f_i(x, y)$ 缓慢变化时, $f_i(x, y)$ 集中于低频段, 而反射率 $f_r(x, y)$ 集中于高频段, 物体的信息丰富. 对(8)式两边取对数有:

$$\ln f(x, y) = \ln f_i(x, y) + \ln f_r(x, y) \quad (9)$$

就将低频分量和高频分量分开了. 对于函数 $\ln f(x, y)$ 做拉普拉斯运算有:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \ln f = & \ln f_i(i+1, j) + \ln f_r(i+1, j) + \\ & \ln f_i(i-1, j) + \ln f_r(i-1, j) + \\ & \ln f_i(i, j+1) + \ln f_r(i, j+1) + \\ & \ln f_i(i, j-1) + \ln f_r(i, j-1) - \\ & 4\ln f_i(i, j) - 4\ln f_r(i, j) \end{aligned} \quad (10)$$

通常情况下, 入射光强度 $f_i(x, y)$ 变化缓慢, 在小范围内可以认为是均匀的, 所以相邻两像素的入射光强度 $f_i(x, y)$ 具有相等值, 对图像取对数经过拉普拉斯运算就可以消除入射光强度而只保留物体反射率的变化, 式(10)变为:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \ln f = & \ln f_r(i+1, j) + \ln f_r(i-1, j) + \\ & \ln f_r(i, j+1) + \ln f_r(i, j-1) - \\ & 4\ln f_r(i, j) \end{aligned} \quad (11)$$

通过这种变换, 去掉了光强度的影响从而去除了光强度不均匀所造成的伪边缘, 利用保留下来的

物体反射率变化来检测边缘, 防止了邻近边缘的相互干扰.

对于需要较高精度的边缘检测, 可以使用插值的方法来确定精确的边缘位置, 检测出像素边缘后, 扫描每一个边缘点像素, 以其为中心选择一个 5×5 的邻域, 然后使用一个三次多项式来拟和这个小邻域:

$$f(x, y) = k_1 + k_2x + k_3y + k_4x^2 + k_5xy + k_6y^2 + k_7x^3 + k_8x^2y + k_9xy^2 + k_{10}y^3 \quad (12)$$

使用最小二乘法通过奇异值分解来计算系数 $k_i^{[6,7]}$, 求出系数后就可以得到该小邻域的拟和方程 $f(x, y)$, 根据精度的要求, 对该邻域进行分割, 计算 $f(x, y)$ 在各点的数值, 选取极值所在点作为边缘点, 就可以得到满足精度要求的边缘位置.

3 试验与结果

3.1 改进的 LOG 算法的计算步骤

- (1 对原始图像使用高斯滤波函数进行卷积滤波;
- (2 对滤波后图像的每一个像素取对数;
- (3

- 对图像进行拉普拉斯运算;
- (4 检测二阶导数零交叉点, 获取边缘;
- (5 插值计算精确边缘位置.

3.2 试验结果

图 2 是一幅 200×280 像素的遥感图像(很明显是一个体育场的跑道 , 图 3 是对图 2 提取边缘的结果, 其中 A、B、C 3 幅图像是使用 LOG 算法在 σ 取不同值时的提取效果, A'、B'、C' 3 幅图像是使用改进的 LOG 算法在 σ 取不同值时的对比提取效果.



图 2 200×280 像素的遥感图像

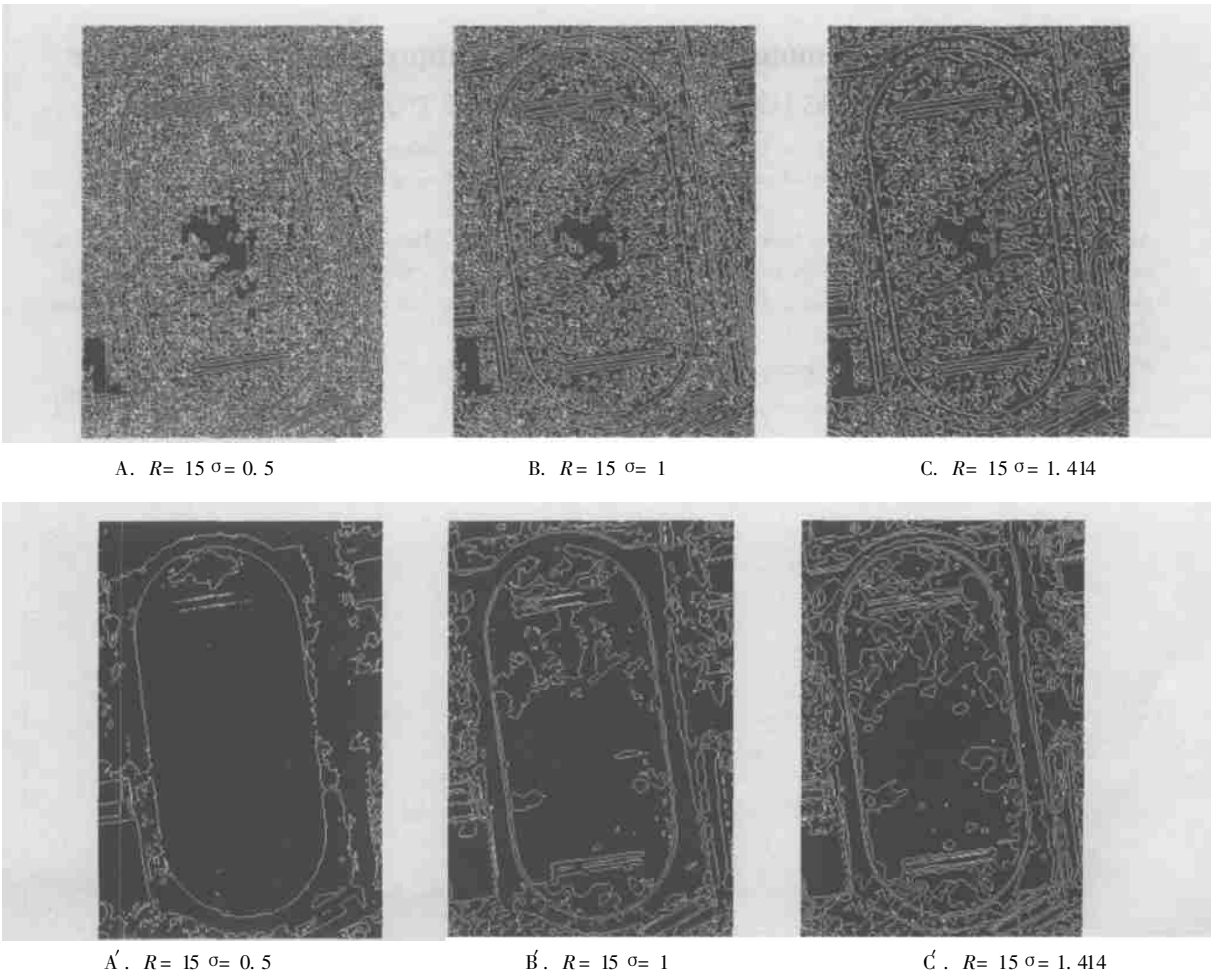


图 3 LOG 算法与改进 LOG 算法提取边缘效果对比图

从 A、B、C 3 幅图可以看出,随着 σ 的增大,高斯函数的滤波作用不断增强,去除噪音效果变好,所以伪边缘逐步减少;从 A'、B'、C' 3 幅图像可以看出,随着 σ 的增大,高斯函数对于亮度值差异较小的区域的反应逐步敏感起来,因此亮度值差异较小的区域的边缘也逐步提取出来,高斯函数半径的影响与此类似。分别两两对比 A、B、C 和 A'、B'、C' 6 幅图像,可以看到改进的 LOG 算法去除了光照强度不均匀的影响,大大的减少了因光照强度不均所造成的伪边缘;从多幅图对比来看,跑道与操场边缘的距离较近,在 B、C 图上由于相互干扰,两条边缘已经混为一体,分辨不出了,而在 B'、C' 图上跑道与操场的边缘清晰可见,说明消除了光照强度的影响,邻近边缘之间的相互干扰大大降低了。根据实验的结果当 σ 取值在 1.2~ 1.5 之间时,提取的效果较佳。

4 结论

LOG 算法具有较大的实用价值,但同时缺点也

很明显。通过对 LOG 算法的改进,消除了光照强度影响,从而去除了光照强度不均造成的伪边缘并减少了因邻近边缘相互干扰而形成的错误边缘,同时通过实验得出了 σ 在 1.2~ 1.5 之间取值提取的效果最佳的结论。

[参考文献]

[1] 章孝灿,黄智才,赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 杭州:浙江大学出版社,1997. 93 - 106.
 [2] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2000. 82 - 104.
 [3] 赵荣椿,赵忠明,催生. 数字图像处理导论[M]. 西安:西北工业大学出版社,1999. 83 - 91.
 [4] 朱秀昌,刘峰,胡栋. 数字图像处理与图像通信[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2002. 85 - 89.
 [5] 梅安新,彭望,秦其名,等. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社,2001. 36 - 41.
 [6] 容观澳. 计算机图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2000. 102 - 128.
 [7] 徐士良. 计算机常用算法[M]. 北京:清华大学出版社,1996. 202 - 211.

Edge Detecting of Remote Sensing Image by Improved LOG Algorithms

PENG Liqin¹, FENG Wenzhao¹, ZENG Zhiyuan²

(1. School of Resources, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China;
 2. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

Abstract: Edge detecting is one of the basic process in image processing. LOG Algorithm is one of the best edge detecting methods in common use, however, its shortcoming is also very obvious. To obtain better effect of edge detecting, the paper improves the LOG algorithms by getting rid of the luminosity effect, seeking the best scale of σ and the inserting method to obtain more precise and more effective image.

Key words: edge detecting, LOG algorithms, Gaussian filter function, luminosity

[责任编辑: 陆炳新]