

图像边缘信息分析中数学形态学的应用方法

刘慧敏¹ 舒 宁¹ 林 卉¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 在讨论和分析数学形态学用于多值灰度图像的原理和几种基本运算基础上, 提出应用数学形态学进行图像边缘增强和提取的原理和方法, 介绍了相应结构元的构成方法及试验效果。

关键词: 数学形态学; 边缘增强; 结构元

中图法分类号: TP751.1; O17

随着摄影测量与遥感学科的发展, 如何利用跨学科的知识, 采用新型算子以改进和完善影像处理技术, 从而提高处理速度和精度, 将成为摄影测量与遥感工作者所关注的方向之一。

数学形态学基于集合理论, 以形态为基础, 采用“结构元素”这一特殊工具量度图像中的形态, 检测出形态。在二值图像中应用已较多, 而且比较成功。本文仅就它应用于灰度图像中边缘增强作一论述, 并基于数学形态学运算的理论特点及实践效果进行分析, 提出了应用数学形态学对灰度图像边缘增强的基本思想方法, 介绍了其算法实现及应用效果。

1 灰度图像数学形态学运算

1.1 扩张运算

扩张运算算符为 \oplus 。设灰度图像为 f , 结构元素为 K , 则用移位运算表达的扩张运算为:

$$(f \oplus K)(x, y) = \max\{g(x-i, y-j) + k(i, j) \mid k(i, j) \in K, g(x-i, y-j) \in f\}$$

也就是说, 扩张运算的计算是一个点一个点地进行的, 计算时涉及到它周围点的灰度值及结构元素值, 实际上是局部范围内点与结构元素中对应点的灰度值之和, 选取其中的最大值。所以, 扩张运算后, 边缘得到延伸。在利用数学形态学作边缘增强时可利用扩张运算。

1.2 侵蚀运算

侵蚀运算的算符为 \ominus , 设灰度图像为 f , 结构

元素为 K , 则用移位运算表达的侵蚀运算为:

$$(f \ominus K)(x, y) = \min\{g(x+i, y+j) - k(i, j) \mid k(i, j) \in K, g(x+i, y+j) \in f\}$$

同样, 侵蚀运算也是一个点一个点地进行的, 某点的运算结果是它在一个局部范围内的点与结构元素中与之相对应的点的灰度值之差, 选取其中的最小值。可见, 经侵蚀运算后, 边缘部位灰度值相对大的点的灰度值会降低, 从而边缘会向灰度值高于相邻区域的区域内收缩。边缘增强亦可利用侵蚀这一算法。

1.3 开启和闭合

开启运算算符为 \circ , 闭合运算算符为 \bullet 。设 f 为原图像, K 为结构元素, 则

$$f \circ K = (f \ominus K) \oplus K$$

$$f \bullet K = (f \oplus K) \ominus K$$

开启和闭合运算都是扩张和侵蚀的组合运算。

以上介绍的扩张、侵蚀、开启、闭合是数学形态学中 4 种最基本的运算, 除此之外还有很多运算, 本文暂不涉及。

1.4 结构元素

在作形态变换运算时, 首先必须选取结构元素。结构元素实际上是一个小窗口内的灰度“形态”, 也就是当窗口大小一定时, 只需要确定窗口内各点的数值大小。一般来讲, 结构元素的核作为非边缘处(即区域内)的灰度差允许的值, 而核周围的元素主要对由它们相互之间及与核的相对大小决定图像上增强边缘运算时当前点与它周围的点之间“是否有边缘存在”有决定作用。数值的

确定一般根据特定的目的结合试验效果来进行。至于窗口尺寸,在边缘增强的形态变换中,一般采用 3×3 、 5×5 、 7×7 的窗口,其中 3×3 窗口是最快速的,增强的边缘也是最细腻的。这是因为对图像作形态学处理时,不仅有抽取边缘的作用,而且当结构元窗口较大时,还会对边缘有扩展作用。结构元素中,相应于形态变换时当前像元的点称为核,一般情况下,取中心像元为结构元素的核。

2 数学形态学应用于灰度图像边缘增强的基本思想

对于灰度图像,其边缘可以理解为灰度变化大的部位。要提取出灰度图像的边缘,也就是要找出这些灰度变化大的部位。

2.1 扩张在边缘增强中的应用思想

2.1.1 扩张的效果

对灰度图像进行一次扩张运算,原图像上的点都将在结构元素对应区域内按结构元素取值大小扩散开去,当然最终结果是所有扩散结果中(相应于具体的点)灰度最大的值。当结构元素的核取值不为 0 时,原图像上的点的灰度值肯定会增大,而处于它周围的点的灰度值较小时,会由于扩张作用而被“抬升”起来。当二者差值越大时,这种“抬升”效果就越为突出。这就使得灰度变化大的部位其扩张运算结果与原图像相比差异性较大。对于灰度变化较为平缓的部位(即为非边缘部位),经扩张运算后,所有点的灰度除增加结构元素核的数值大小外,其他变化很小。因为各点相对于它周围的点的灰度值差值不大,因而它不会由于周围像素的扩张作用而被“抬高”较大数值。同样地,它周围的像点灰度值也不会因为它的扩张作用而增大较多,这样,区域内部经扩张运算后与原图像差异性较小。

2.1.2 扩张运算与边缘增强

扩张运算对边缘处的作用非常明显,而对非边缘处的作用则较为微弱,可以利用其这一特点来增强边缘。

对图像作扩张运算后,与原图像作对比,差异性大的在边缘上,因此可设定一阈值 T ,当差值(或比值)超过该阈值 T 时,则可视其为边缘。

利用扩张运算实现边缘增强,其步骤如下:

① 给定结构元素。通常采用一确定的结构元素对整幅图像进行处理,对于不同的图像,则采用相同或不同的结构元素。对于边缘增强而言,选取 3×3 或 5×5 窗口的结构元素较为适合,窗

口大了会对边缘提取的精度带来损失。而整幅图像中的边缘多种多样,因而在结构元素的取值上,选取中心对称的结构元素值,结构元素的核取值一般大于其周围点的值,但也不要超出太大,需要通过试验比较来选取适合的值。

② 对图像进行扩张运算。对每一个像素进行扩张处理时,需要注意的问题是,在对原图像四边上的点进行扩张运算时, i, j 的取值范围应保证 $g(x-i, y-j) \in f$,若 $k(i, j)$ 的值为 0,则 $g(x-i, y-j) + k(i, j)$ 不应参与极值的选取; $g(x-i, y-j)$ 的值为 0, $g(x-i, y-j) + k(i, j)$ 亦不参与极值的选取,同时,运算结果最大值不应超出图像灰度范围。

③ 扩张结果与原图像的比较。这里所说的比较,容易实现的就是比值和差值。图像经扩张运算后,其结果只是使原图像的灰度发生了变化,尤其边缘处灰度变化更显著,为了显示边缘增强的效果,与原图像作对比计算,求出差异图像。

2.2 侵蚀在边缘增强中的应用思想

2.2.1 侵蚀的效果

与扩张相反,侵蚀使整幅图像灰度降低。若某一像素被结构元素的核击中,则它周围结构元素所触及范围内不完整的部分被“侵蚀”掉了。灰度变化平缓、总体起伏不大的区域,灰度值除普遍按结构元素核值减小外基本无其他变化,而灰度变化较明显的边缘处,则当周围有灰度值小于本身灰度值时,该像点高出的部分将被“侵蚀”掉。

2.2.2 侵蚀运算与边缘增强

与扩张运算相一致,侵蚀也只是对灰度变化处的作用非常明显,而对灰度趋于均匀的区域的作用较为微弱。利用这一特点,将经过侵蚀运算的图像与原图作对比计算,则可突出边缘。

利用侵蚀运算实现边缘增强,其步骤如下:

① 选取结构元素。结构元素窗口选取也不能过大,否则增强的边缘会成为有一定宽度的“区域”,定位精度也就比较低了。尤其图像中地物很零碎时,应尽量选取较小的窗口。

② 对图像的侵蚀运算。在进行侵蚀运算时,同样需要注意图像四边廓点 i, j 的取值范围,要保证 $g(x+i, y+j) \in f$ 。同时要注意,侵蚀结果不应为负值,当出现负值时,应赋值为 0。

③ 侵蚀结果与原始图像的对比计算。可以求差值、比值,也可利用现有图像处理系统中相应功能处理,如用 Photoshop 5.0 中的 difference calculation 获取的效果很好。

④ 选取效果最好的边缘增强结果。从多种

结构元素及多种对比计算的边缘增强结果中, 选取出其中效果最佳的结果作为处理结果。

2.3 开启和闭合与边缘增强

开启和闭合在数学形态学中是一对算符, 开启有“削峰”作用, 闭合则有“补谷”作用^[2]。这里的“峰”和“谷”并不是针对整幅图像, 而是针对像点所在的局部区域而言的。灰度变化显著的边缘部位, 其开启、闭合运算的结果与原图像差异性也很大。这时, 同样可以将其与原始图像作对比计算, 求出边缘图像。

与扩张、侵蚀处理获得的边缘影像相比, 开启、闭合运算得到的边缘影像效果更好, 受噪声干扰小, 稳定性也较强, 与扩张、侵蚀边缘增强的步骤也基本一致。

2.4 组合运算增强边缘

数学形态学用于图像处理, 速度非常快, 同时其算法设计灵活多变。

2.4.1 扩张与侵蚀结果的对比计算

先对原图像分别作扩张和侵蚀运算, 用得到的两幅新图像作对比计算。这种组合运算中, 结构元素选取 3×3 的窗口比较适宜, 边缘定位精度很高。

2.4.2 扩张与侵蚀运算增强边缘后的叠合运算

对原图像分别作扩张和侵蚀增强边缘后, 两边缘图像求和, 作迭加运算, 这样可生成一幅新的边缘图像, 这样的结果会比扩张、侵蚀单独计算的边缘更突出, 位置也更精确, 效果更为理想。当然, 这里的扩张和侵蚀运算不要求采用同一结构元素。

2.4.3 其他组合运算

可行的组合运算包括: 对原图像顺次作扩张、扩张或侵蚀、侵蚀后与原图像顺次作对比计算; 对原图像作开启、闭合后与原图像作对比计算; 开

启、闭合所增强边缘的叠合运算; 对原图像顺次作侵蚀、扩张运算后与原图像作对比计算; 对原图像顺次作扩张、侵蚀运算后与原图像作对比计算。

以上处理的效果比单独扩张或侵蚀后与原图像对比作边缘增强运算所得的效果为好。

3 试验效果分析

3.1 扩张与侵蚀的运算结果对比分析

扩张运算使目标区向边缘以外扩展, 使得区域增长, 甚至有的区域得以合并; 而侵蚀则使区域向内收缩, 甚至原本较小的图斑小区域消失。两者对比时, 区域小的差别较明显, 而区域大的差别很细微。如图 1、图 2 所示。

3.2 开启与闭合的运算效果对比分析

开启运算使原图像中的局部峰值被削掉, 闭合运算则使原图像的局部低谷点被填充。从整体上来看, 开启运算剔除小“目标”, 闭合运算则将小面积的“背景”填充。

3.3 扩张和侵蚀增强的边缘效果对比分析

如图 3、图 4 所示, 扩张增强的边缘处于灰度突变处灰度值较小的像点上, 而侵蚀增强的边缘点则为原图像上灰度突变处灰度值较大的像点。当目标灰度值较背景灰度值大时, 小区域的边缘结果视觉效果就会有较明显的差异。扩张所增强的边缘曲率往往要小于侵蚀后增强的边缘。

3.4 扩张和侵蚀增强的边缘与开启和闭合增强的边缘效果对比分析

经与原图像的比较发现, 开启和闭合增强的边缘较之扩张和侵蚀增强的边缘定位精度更高。图 5 为扩张、侵蚀、开启运算提取的边缘图像的叠加结果。从图中看出, 3 幅图像叠加的结果与单幅



图 1 扩张运算结果

Fig. 1 The Effect of the Operation Dilation



图 2 侵蚀运算结果

Fig. 2 The Effect of the Operation Erosion



图 3 扩张增强的边缘
Fig. 3 Edge Enhancement by Dilation



图 4 侵蚀增强的边缘
Fig. 4 Edge Enhancement by Erosion

图像效果一致, 而扩张与侵蚀、开启与闭合是互逆的运算, 这说明通过数学形态学运算提取的边缘精度是很高的。进一步的分析可知, 扩张和闭合运算提取边缘的外侧, 而侵蚀和开启提取边缘的内侧, 也就是说, 二者提取的边缘存在细微的差异, 但这

种差异的存在并不表明精度低, 而恰恰是离散图像表达边缘的固有属性。一般来说, 开启、闭合运算后提取的边缘效果更好, 检测出的边缘最完全, 而且它能检测出所有走向的边缘, 真正体现检测算子(结构元素)的普遍适应性。

3.5 试验中用到的几类结构元素

在边缘信息提取分析中, 笔者尝试的主要有 3×3 及 5×5 窗口的结构元素。图 6 是 3×3 窗口结构元素, 其窗口结构元素有 3 种。试验结果表明, 图 6(a)的效果最好, 图 6(c)的效果最差。图 7 为 5×5 窗口结构元素, 试验结果中图 7(a)效果最好, 图 7(c)效果最差。

就 3×3 窗口与 5×5 窗口的结构元素比较而言, 3×3 窗口结构元素形态变换增强的边缘视觉效果更好一些。

3.6 数学形态学增强和提取边缘信息与常用方法的简单比较

数学形态学运算提取边缘信息中, 结构元素



图 5 扩张、侵蚀、开启运算提取的边缘图像的叠加
Fig. 5 The Composite Result of the Edge Images by Dilation, Erosion, and Opening

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 4 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |

(a)

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 4 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

(b)

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 1 |

(c)

图 6 3×3 窗口结构元素
Fig. 6 Structural Element of 3×3 Window

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

(a)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

(b)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 1 | 2 | 5 | 2 | 1 |
| 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

(c)

图 7 5×5 窗口结构元素
Fig. 7 Structural Element of 5×5 Window

的核有抑制区域内噪声的作用(通过形态学运算结果之间的对比计算实现), 开启与闭合运算也能抑制随机噪声。在抑制噪声的同时又能增强边缘, 这是梯度算子等无法比拟的。图8是采用开启运算增强边缘信息再用 LOG 算子提取边缘的效果, 图9是比较常见的一种非梯度的边缘提取算子 LOG 算子对同一幅图像进行边缘检测的结果。从图8中可看出, 用数学形态学方法进行边缘增强后提取出了边缘, 受噪声干扰少。从图9中可以看出, LOG 算子受噪声干扰, 且具有对地物类别不敏感的特点。图8与图9相比, 数学形态学处理的抗噪声干扰能力很强, 实践中可以根据需要采用相应算子进行边缘提取。

同时, 由于数学形态学的计算可并行执行, 且没有统计信息处理, 只有加、减运算, 因而便于计算机的快速实现, 这与根据区域找边界的方法不同。它虽然速度快, 但未能充分利用图像中的潜在信息, 如统计特性、纹理特征等。



图8 开启运算增强后 LOG 算子提取的边缘

Fig. 8 The Edge Extraction by LOG Operator after Opening Operation for Edge Enhancement

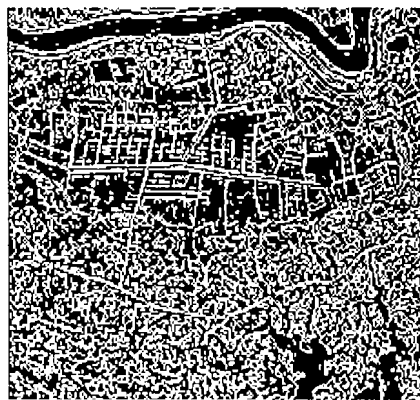


图9 LOG 算子提取的边缘

Fig. 9 The Edge Extraction by LOG Operator Only

综上所述, 将数学形态学方法用于图像边缘增强是可行的, 为图像边缘增强和边缘提取开辟了新途径。数学形态学运算可并行处理, 且运算简单, 计算速度快, 今后将多尝试用于多光谱图像的边缘分析, 进一步拓展其应用范围。

参 考 文 献

- 1 孙家炳, 舒宁, 关泽群. 遥感图像处理原理方法与应用. 北京: 测绘出版社, 1997
- 2 李介谷. 计算机视觉的理论和实践. 上海: 上海交通大学出版社, 1991
- 3 容关澳. 计算机图像处理. 北京: 清华大学出版社, 2000
- 4 王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998
- 5 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用. 北京: 测绘出版社, 2000
- 6 章毓晋. 图像工程(上册)——图像处理与分析. 北京: 清华大学出版社, 2000
- 7 宁书年, 吕松棠, 杨小勤, 等. 遥感图像处理与应用. 北京: 地震出版社, 1995

作者简介: 刘慧敏, 硕士生。现从事遥感影像处理和地理信息系统研究。

E-mail: liuhm21cn@263.net

The Edge Information Analysis by Mathematical Geomorphology of Image

LIU Huimin¹ SHU Ning¹ LIN Hui¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: The edge enhancement and extraction are the important aspects for image analysis. There are many researches which have been performed for that purpose. The difficulties are that the edges are sometimes not very distinct and the noise may be extracted as long as the edges be -

ing found. Several approaches have been proposed to resolve those problems. In this paper, the mathematical geomorphology is considered as a new way while being applied for remote sensed image. The details of the principles have been discussed. As the operation of dilation is sensitive to the edges, the effects are more distinguished when compared with the original image. Same effects could be found when using the operation of erosion, while the analysis for opening and closing has shown the better results with less influence of noise. The discussion about the combination of different operations has been also introduced for further applications. The image resulted from dilation and that from erosion can be put into a new one in which the edges could be enhanced with precise positions. Other combinations such as that for opening and closing can have the better effects than that by using dilation or erosion only. The structure elements of different size of windows have been discussed according to their effects. The experiments for comparison with conventional gradient operator show that the method of mathematical morphology has the advantages of edge enhancement and less influence of noise.

Key words: mathematical geomorphology; edge enhancement; structural elements

About the author: LIU Huimin, master candidate. She is concentrated on the research of image processing and GIS.
E mail: liuhm21cn@263.net

(上接第 319 页)

tified that the subspaces level of 4 or 5 is adequate for multiresolution wavelet analysis of an image (1024×1024). At each stage of the multiresolution pyramid, the approximate signal is low-pass filtered and decimated. And the wavelet coefficients are computed by high-pass filtering. It is proved that the signal energy concentrates on the wavelet coefficients of higher absolute value, and that the coefficients of high absolute value is more valuable than that of low absolute value in the signal wavelet reconstruction. It is also demonstrated that the effect of speckle is more serious in higher frequency parts, and the speckle decrease sharply as the image is low-filtered. So it can be considered that the speckle in 4 or 5 level approximate image can be ignored. The detail images of each subspace in which the ratio of signal to speckle is comparatively low are processed. The speckle of detail image at high frequency level is suppressed comparatively more by soft-threshold technique while the speckle at low frequency is suppressed comparatively less. The filter's threshold is computed according to the number of level, the variance and the length of each detail images.

The result image which is reconstructed by the processed detail images of each level is estimated through the effect of vision, the quantitative analysis such as mean, standard and variance, and the analysis of preservation of edge and detail. The filtering results of ERS-1 SAR image and image with simulated speckle show that the method proposed in this paper is satisfying in visual appearance, speckle suppression and detail preservation.

Key words: multiresolution wavelet analysis; speckle; threshold; effective number of looks

About the author: BU Fangling, associate professor, Ph. D candidate. Her research interests include remote sensing information processing, and digital signal processing, etc. She has published 7 papers.
E mail: pufangling@163.net