

# 基于数学形态学的遥感图像多感兴趣区域提取

李晓飞<sup>1</sup>, 马大玮<sup>1,2</sup>, 范小麟<sup>1</sup>, 胡焰智<sup>1</sup>

(1. 重庆通信学院, 重庆 400035;

2. 重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

**摘 要:**提出了一种基于数学形态学的遥感图像多感兴趣区域提取算法。首先通过形态学运算强化特定结构的多个目标区域,运用阈值分割算法完成初步的图像区域分割;然后利用形态学运算进行精细化处理,结合提出的判断准则,通过人工交互完成了多感兴趣区域的提取;最后利用形态梯度的算法探测出感兴趣区域的边缘。实验结果表明该方法能够快速有效地分割提取出遥感图像中的多个感兴趣区域。

**关键词:**感兴趣区域;遥感图像;数学形态学;边缘检测

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2007)12-0056-04

## Extraction of ROIs Based on Mathematical Morphology toward Applications on Remote Sense Image Processing

LI Xiao-fei<sup>1</sup>, MA Da-wei<sup>1,2</sup>, FAN Xiao-lin<sup>1</sup>, HU Yan-zhi<sup>1</sup>

(1. Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, China;

2. College of Communications Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** A new ROIs extract method based on mathematical morphology toward applications on remote sense image is presented. Object regions are intensified by morphologic operation, and these regions are partitioned by setting threshold value. After utilizing refining treatment with morphological operation, ROIs are extracted by manual work based on the proposed regulation. At last, the edges of ROIs are detected by using morphological grads. Experiments show that the proposed method can segment and extract ROIs effectively.

**Key words:** region of interest; remote sense image; mathematical morphology; edge detection

## 0 引言

感兴趣区域提取作为数据压缩、目标识别、图像分类等方面的一个预处理过程,在实际数据处理中有着重要的应用。而高分辨率遥感图像的感兴趣区域提取则是远程探测、精确制导、军事侦察等领域的重要研究方向,研究其提取算法必将对解决遥感图像的目标定位和跟踪等热点问题发挥重要的作用,并将获得广泛的应用前景。

人们在观察和理解图像时能够不自觉地对某些目标区域产生兴趣,这些区域被称为“感兴趣区域(Region of Interest, ROI)”。该区域之外的图像意义不大,统称为背景区域。遥感图像信息量丰富,与一般的图

像相比,其包含的目标区域比普通图像多,通常具有多个感兴趣区域;同时,不同地物间信息的相互影响与干扰也使得多感兴趣区域的提取变得非常困难。

为此笔者提出了一种基于数学形态学的遥感图像多感兴趣区域提取算法,其基本思想是:首先通过形态学运算强化特定结构的多个目标区域,从而采用阈值分割算法将多感兴趣区域初步从背景中分割出来;然后运用形态学运算对分割出来的各个区域进行精细化处理,并结合一定的判断准则,通过人工交互完成了多感兴趣区域的提取;最后利用形态梯度的算法探测出感兴趣区域的边缘,从而有利于进行进一步的感兴趣区域编码。

## 1 形态学基础

在对遥感图像的研究和应用中,人们往往以获取地物拓扑和结果信息为目的,希望通过某些运算得到地物更本质的形态<sup>[1]</sup>。近年来,数学形态学理论的提出很好地解决了上述问题,它以严格的数学理论和几

收稿日期:2007-03-07

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2005BB2206)

作者简介:李晓飞(1982-),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为图像压缩、图像处理等;马大玮,博士,副教授,研究方向为图像通信、视频压缩处理等。

何学为基础,用具有一定结构和特征的结构元素去探测图像,从中提取需要的信息特征,以达到对图像分析和识别的目的<sup>[2]</sup>。数学形态学覆盖面非常广泛,其中包括图像处理与分析领域。

形态学的基本运算有腐蚀、膨胀、开启和闭合,借助它们的组合可构成许多实用算法,可以进行包括图像分割、特征抽取、边缘检测、图像滤波、图像增强和恢复等方面的工作。对应于二值图像和灰度图像,这四个基本运算有着不同的处理方法。

传统的数学形态学是建立在集合(二值)基础上的,处理灰度图像时要对图像进行二值化处理,会造成图像信息的丢失。灰度形态学将处理对象由集合拓展为函数,保留了大量的灰度信息。对应于灰度图像,数学形态学的基本运算定义如下:

假定  $f$  为灰度图像,  $B$  为结构元素。

灰度腐蚀定义为:

$$(f \ominus B)(x, y) = \min\{f(x - i, y - j) - B(i, j)\} \quad (1)$$

灰度腐蚀的具体实现步骤为:对于结构元素  $B$  的定义域中的每一点  $(i, j)$ ,将灰度图像  $f$  平移  $(i, j)$  后,再从每次平移灰度值中减去  $B(i, j)$ ,这样对于结构元素定义域中的每一点都得到一个灰度值,逐点取其最小值便可以得到腐蚀结果。

灰度膨胀定义为:

$$(f \oplus B)(x, y) = \max\{f(x - i, y - j) + B(i, j)\} \quad (2)$$

灰度膨胀的具体实现步骤为:对于结构元素  $B$  的定义域中的每一点  $(i, j)$ ,将灰度图像  $f$  平移  $(i, j)$  后,再从每次平移灰度值中加上  $B(i, j)$ ,这样对于结构元素定义域中的每一点都得到一个灰度值,逐点取其最大值便可以得到膨胀结果。

灰度开启和灰度闭合运算都是由灰度腐蚀和灰度膨胀的组合运算构成的,其表达式分别为:

灰度开启定义为:

$$f \circ B = (f \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

灰度闭合定义为:

$$f \cdot B = (f \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

另外,数学形态学运算对于腐蚀运算和膨胀运算还具有以下的性质:

$$f \ominus (B_1 \oplus B_2) = (f \ominus B_1) \ominus B_2 \quad (5)$$

$$f \oplus (B_1 \oplus B_2) = (f \oplus B_1) \oplus B_2 \quad (6)$$

由于形态操作的时间常与结构元素的尺寸成正比,所以通过分解结构元素可以大大减少计算时间<sup>[3]</sup>。因此,利用以上的性质可以通过对结构元素进行分解,把大的结构元素分解为小的结构元素,再按照次序对图像进行迭代运算,从而达到减少运算量的目的。例

如,假设采用  $3 \times 3$  的方形结构元素对图像进行形态学滤波运算,每处理一个像素,就需要比较 8 次;而如果将  $3 \times 3$  的方形结构元素分解为  $1 \times 3$  的扁平结构元素和  $3 \times 1$  的竖直结构元素进行迭代处理,则只需要比较 4 次就可以处理完一个像素。运算效率提高了 50%。结构元素越大,分解迭代运算对于提高运算效率的作用就越明显<sup>[4]</sup>。

## 2 形态学提取算法的设计

文中设计出的基于数学形态学的遥感图像多感兴趣区域提取算法的具体步骤如下:首先利用灰度腐蚀运算强化特定结构的多个目标区域,运用阈值分割算法完成初步的图像区域分割;然后利用膨胀等一系列的形态学运算进行精细化处理后,结合提出的判断准则,通过人工交互完成了多感兴趣区域的提取;最后利用形态梯度的算法探测出感兴趣区域的边缘。

### 2.1 区域分割

灰度腐蚀运算可以去除图像中的孤立噪声点和边界上的微小突起,同时利用其可以突出某些结构并消减与结构形状不相关的图像细节,从而实现了强化不太显著的特定结构目标区域的作用<sup>[5]</sup>。文中算法中选择  $10 \times 10$  的方形结构元素对图像进行灰度腐蚀运算。接下来,选取一定的阈值对上面的运行结果进行阈值化处理,将灰度图像化为二值图像,从而进一步消除与目标区域结构不相关的细节,以完成初步的图像区域分割。

### 2.2 多感兴趣区域提取

首先,对上面初步的分割结果运用形态学运算进行填充孤立黑点、清除孤立亮点、自动搜索填充孔洞等等这样一些处理。然后进行形态学膨胀运算,削减上面腐蚀处理中所带来的消极影响,同时可以填补孔洞,并填平边界上不平滑的凹坑部分,从而进一步实现各个区域的精细化处理。

针对后续的感兴趣编码需求,考虑到如果提取的感兴趣区域面积过小就丧失了进一步感兴趣区域编码的目的;相反的,如果面积过大,将会大大增加编码所需的运算量,同时也不利于突出编码后的感兴趣区域与背景区域之间视觉质量的差别。这里给出选取感兴趣区域的一般判断准则,即待选取的每一个感兴趣区域的大小都应满足大于整幅图像面积的 1%,小于其 25%。由此,结合提出的判断准则,通过人工交互的方法最终完成了多感兴趣区域的提取。

### 2.3 边缘检测

许多常用的边缘检测算子是通过计算局部微分来实现,具体包括 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子

和 Laplace 算子等非线性算子。由于微分运算会增强图像噪声,因而这类边缘检测算法对噪声都较为敏感,而且经常将噪声误判为边缘点,所以恶化了信噪比,检测出的边缘也较为粗糙,检测效果并不理想。特别是对遥感图像这些包含比较复杂和丰富细节的图像,有的非线性算子涉及方向性并且各向异性,很难完全检测出图像的边缘。

上文所述的诸多形态学运算具有建立形态梯度算子的先天性质,并且在一定程度上可以滤除小于结构元素的噪声。形态学应用于图像边缘检测的基本思想是选择合适的结构元素对原图像进行形态运算然后与原图像相减。基于形态梯度的边缘检测算法优于基于微分运算的边缘检测算法,对噪声不像微分运算那样敏感,也不会加强或放大噪声,而且提取的边缘比较光滑;同时由于数学形态学的算法具有天然的并行实现的结构,大大降低了边缘提取的计算复杂度。

利用膨胀运算会使图像扩大,腐蚀运算会使图像缩小的特性<sup>[6]</sup>,可以得到以下三种梯度算子的定义。

腐蚀型梯度算子定义为:

$$\text{grad}_c = f - (f \ominus B) \quad (7)$$

膨胀型梯度算子定义为:

$$\text{grad}_d = f(f \oplus B) - f \quad (8)$$

腐蚀、膨胀结合型梯度算子定义为:

$$\text{grad}_c = (f \oplus B) - (f \ominus B) \quad (9)$$

由定义可见,腐蚀型梯度算子是原图像减去原图像收缩后从而得到的边缘;膨胀型梯度算子是将原图像膨胀后再减去原图像从而得到图像边缘。若是将原图像收缩和扩张一个像素则腐蚀型边缘检测算子和膨胀型边缘检测算子分别得到的是原图像边缘一个像素宽的內边缘和外边缘;而腐蚀、膨胀结合型边缘检测算子得到的是两个像素宽度的骑跨在实际欧式边界上的边缘<sup>[7]</sup>。所以,形态梯度算子在一定程度上可以认为是非线性的算子,是传统差分算子在一定意义上的推广,其检测出的边缘与结构元素有关。选取的结构元素不同,可以得到不同的实际边缘效果,在一定程度上可以保持图像的边缘细节,但以上各式检测到的边缘效果各有不同。为了进一步削减第一步腐蚀处理所带来的不利影响<sup>[8]</sup>,采用膨胀型梯度算子进行感兴趣区域的边缘检测。同时,由于利用对称型的结构元素可以较少受到边缘方向的影响,所以这里选取对称型的结构元素为 $[0 \ 1 \ 0; 1 \ 1 \ 1; 0 \ 1 \ 0]$ 。

### 3 实验结果

为了进一步说明文中算法的可行性和有效性,利

用 Visual C++ 6.0 进行编程实验,选择一幅含有多个目标区域的遥感图像作为待处理的原始图像,大小为  $512 \times 512$  像素,如图 1 所示。根据以上提取算法的步骤对原始图像进行处理,结果图像分别如图 2~图 6 所示。

采用文中算法得到的提取结果表明:

首先,结合形态学中的灰度腐蚀运算很好地强化了图像中特定结构的两个目标区域,并且消减了许多与结构形状不相关的图像细节,对噪声也起到了一定的抑制作用,如图 2 所示。接下来进行阈值图像分割,由于第一步中已经充分突出了灰度等方面的反差特征,从而有利于将灰度图像转化为二值图像,并且可以进一步消除与目标区域结构不相关的细节,进而完成了初步的图像区域分割,如图 3 所示。

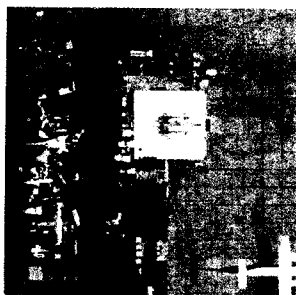


图 1 原始图像

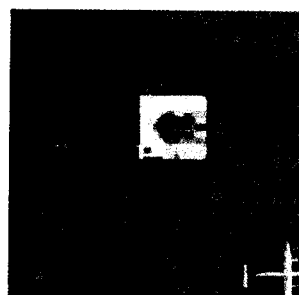


图 2 灰度腐蚀

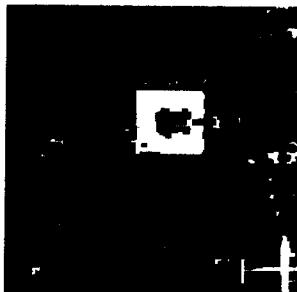


图 3 阈值分割

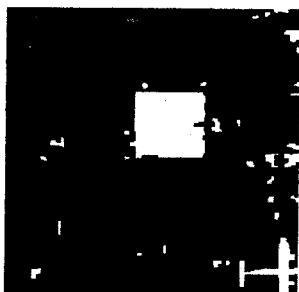


图 4 精细化处理

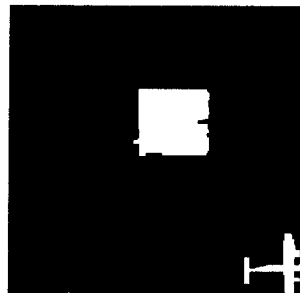


图 5 多感兴趣区域提取

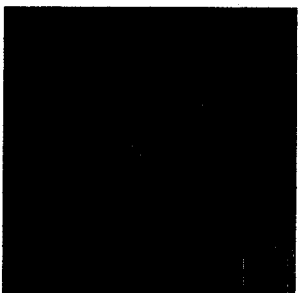


图 6 边缘检测

然后,对上面初步的分割结果运用形态学运算进行填充孤立黑点、清除孤立亮点、自动搜索填充孔洞等等这样一些处理,得到了如图 4 所示的结果图像。由分析可知,此时的图像非常有利于感兴趣区域的提取,因此通过人工交互,采用形态学方法便精确地提取出了遥感图像中的两个感兴趣区域(原始图像中的重要

建筑物和飞机),如图 5 所示。

最后,采用膨胀型梯度算子进行感兴趣区域的边缘检测,实现了边缘的快速、准确定位,同时也保证了边缘的封闭性和连续性,很好地实现了目标区域的完全分割,如图 6 所示。

## 4 结 论

提出了一种基于数学形态学的遥感图像多感兴趣区域提取算法,有效地实现了对遥感中多个感兴趣区域的提取,检测出了单像素、闭合的边缘,为感兴趣区域编码等提供了很好的数据特征。具体的可以利用检测出的边缘信息生成编码所必需的感兴趣区域掩模,然后在充分考虑人眼视觉特性的基础上进行了感兴趣区域编码算法的设计。其大体思想是:首先在被处理的图像中指定感兴趣区域,进而利用小波变换等理论的组合算法对感兴趣区域采用低压缩比的有损压缩甚至无损压缩;而对背景区域则采用高压缩比的有损压缩,从而可以优化图像编码系统的设计,同时能够解决压缩比和重建图像质量的矛盾;同时,经过以上处理生成的码流易于嵌入基于小波变换的图像编解码方法中,在医学诊断图像、网络传输及无线通讯等领域都具有重要的参考和实用意义。这是下一步所要研究的重点方向。

(上接第 55 页)

- [4] O'Callaghan L, Mishra N, Meyerson A, et al. Streaming - data algorithms for high - quality clustering[C]//Proc of IEEE International Conference on Data Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [5] Guha S, Meyerson A, Mishra N, et al. Clustering data streams: Theory and practice[J]. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions, 2003, 15(3): 515 - 528.
- [6] Giannella C, HAN Jia - wei, JIAN Pei, et al. Mining frequent patterns in data streams at multiple time granularities[C]//Proc of the NSF Workshop on next generation data mining. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [7] Aggarwal C, Han J, Wang J, et al. A framework for clustering evolving data streams[C]//proc of Int Conf on Very Large Data Bases (VLDB'03). Berlin, Germany: [s. n.], 2003.
- [8] Dora Cai Y, Clutter D, Pape G, et al. MAIDS mining alarming incidents from data streams[C]//Proc of the 23rd ACM SIGMOD. Paris, France: [s. n.], 2004.
- [9] Dong G, Han J, Lakshmanan L V S, et al. Online mining of changes from data streams: Research problems preliminary result[C]//Proc of ACM SIGMOD Workshop on Management and processing of data streams. [s. l.]: [s. n.], 2003.
- [10] Hidber C. Online association rule mining[C]//Proc of the

总之,高分辨率遥感图像的多感兴趣区域提取算法研究,不仅在目标识别和检测领域发挥着重要的作用,而且必将在远程探测、精确制导、军事侦察、数据压缩等方面获得广泛的参考和实用意义。

## 参考文献:

- [1] 龚 炜,石青云,程民德.数字空间中的数学形态学——理论及应用[M].北京:科学出版社,1997.
- [2] 崔 屹.图像处理和分析——数学形态学方法及应用[M].北京:科学出版社,2002.
- [3] 过润秋,张 颖,林晓春.基于形态滤波的红外小目标检测方法[J].激光与红外,2005(6):451 - 453.
- [4] Ho C P, Chin R T. Decomposition of Arbitrarily Shaped Morphological Structuring Elements [J]. IEEE Trans PAMI, 1995, 17(1): 2 - 15.
- [5] Chen Lanlan, Bi Duyan. Application of mathematical morphology in image processing [J]. Modern Electronic Technology, 2002(8): 18 - 20.
- [6] 李晓飞,马大玮,粘永健,等.图像腐蚀和膨胀的算法研究[J].影像技术,2005(1):37 - 39.
- [7] 章毓晋.图像理解与计算机视觉[M].北京:清华大学出版社,2000:249 - 251.
- [8] 何 斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M].北京:人民邮电出版社,2001.
- [9] ACM SIGMOD Intel conference on management of data. Philadelphia: ACM press, 1999: 145 - 156.
- [11] Chang J, Lee W. Finding recent frequent itemsets adaptively over online data streams[C]//Proc of the 9th ACM SIGKDD Intel conference on Knowledge Discovery & Data Mining. Washington: ACM Press, 2003: 226 - 235.
- [12] 张 昕,李晓光,王大玲,等.数据流中一种快速启发式频繁模式挖掘方法[J].软件学报,2005, 16(12): 2099 - 2105.
- [13] Manku G, Motwani R. Approximate frequency counts over data streams[C]//In: Proc of the 28th International Conference on very large data bases. Hong Kong, China: Morgan Kaufmann, 2002: 346 - 357.
- [14] Charikar, Chen K, Farach - Colton M. Finding frequent items in data streams [J]. Theoretical Computer Science, 2004, 31(2): 3 - 15.
- [15] 刘学军,徐宏炳,董逸生,等.挖掘数据流中的频繁模式[J].计算机研究与发展,2005, 42(12): 2192 - 2198.
- [16] Wong Raymond Chi - Wing, Fu Ada Wai - Chee. Mining top - K frequent itemsets from data streams [J]. Data Mining & Knowledge Discovery, 2006, 13: 193 - 217.