

一种基于数学形态学的 空间遥感图像中弱目标检测算法

毕金元, 宋良图

(中科院合肥智能机械研究所四室, 安徽 合肥 230031)

摘要:从弱目标图像(空间遥感图像)的复杂背景中提取弱小目标一直是一个重要而复杂的课题。遥感图像具有灰度变化丰富, 所含信息量较大, 背景噪声复杂的特点。针对以上问题, 文章讨论了在低对比度、强干扰的情况下, 对弱目标的提取方法。采用基于数学形态学理论的方法来对遥感图像中的弱目标进行检测处理, 提出了一种从遥感图像中提取具有一定外形的弱小目标, 并可以在实际系统上实现的算法。给出在具典型意义的 SAR 图像上的实验分析和实验模拟处理结果, 验证了这种算法在强噪声和复杂背景下的有效性。也证明了该算法具有理论完备、算法简单、抗噪能力强和运算速度较快的优点。

关键词:弱目标; 遥感图像; 数学形态学

中图分类号: P237.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2005)79-003-04

1 引言

包含弱目标的图像, 如 SAR 图像、红外图像、微波图像等遥感图像, 在图像的获取中, 由于光电传感器和目标之间的距离通常比较远, 大片的背景图像都随着距离的增大而逐渐弱化, 丧失了其细节轮廓特征, 而实际获取的目标图像又常存在图像模糊、灰度动态范围小、目标形态特征弱化和细节特征大部分丧失以及背景噪声大等问题。从纹理上看, 尺度小的目标图像对纹理等参数的影响是相当微弱的, 而且, 描述背景图像的纹理模型对弱目标的描述存在着一定的拟合。对于弱目标图像, 通常的检测方法, 如: 灰度直方图阈值分割法、SNR 分析法、检测前跟踪 (TBD) 法、多尺度分析 (MSA) 法、基于纹理频谱分析的方法等, 往往不能达到目的。

遥感图像处理是遥感系统走向实际应用的重要环节。文中以遥感图像为例, 依据目标的结构信息采用数学形态学方法进行弱目标检测分析, 从中抽取目标结构特征、去除背景噪声, 再综合一些其他处理方法 (恢复、阈值分割等), 最终检测获取到指定的弱目标。基于这一思想, 文中提出了一种基于数学形态学的弱目标检测复合算法。实验证明, 该算法具有理论完备、定位精确、算法简单、抗噪能力强和运算速度较快的优点, 并可在实际系统上实现的算法。

2 遥感图像检测理论及检测算法

近年来, 数学形态学图像处理已发展成为图像处理的一个重要研究领域^[1]。

数学形态学也称为图像代数, 是分析几何形状和结构的

数学方法, 建立在几何代数基础上, 用集合论方法定量描述几何结构的理论。数学形态学是 80 年代初发展成为一门较成熟的数学分支并逐渐成为图像几何特征分析与处理的有力工具, 是一种非线性图像处理与分析理论。它提供了一种基于图像几何特征的信息提取方法, 即建立在公式化的数学框架上, 直接在空域中处理图像的几何表面特征。它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。它可以简化图像数据, 保持它们的基本形状特性, 并除去不相干的结构, 具有天然的并行结构。算法中用到的相关理论简要介绍如下:

(1) 二值形态学运算

二值形态变换(A 为图像集合, B 为结构元素):

A 被 B 膨胀定义为: $A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$

实际意义: 使图像集合的面积按结构元的选择而平滑地变大, 图像在边界膨胀。

A 被 B 腐蚀定义为: $A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\}$

实际意义: 与膨胀相反, 使图像集合的面积按结构元的选择而平滑地变小, 图像在边界处收缩。

使用结构元 B 对集合 A 进行开操作。定义为:

$$A \cdot B = (A \ominus B) \oplus B$$

实际意义: 可对图像集合按结构元的选择进行平滑, 去掉一些点集合。

使用结构元素 B 对集合 A 的闭操作, 定义为:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$$

实际意义: 可以连接窄的裂缝, 填充小的空洞。

在二值形态学的基础上进行推广就是一般的灰度形态学理论和方法。灰度形态学的操作对象是图像函数而不再是集合, 它是对输入函数图像施加一定的结构元素(函数)以

收稿日期: 2004-12-16

基金项目: 国家 863 项目 智能信息处理技术研究(2003AA118070)

作者简介: 毕金元(1975, 9~)男(汉), 安徽肥东人, 研究生。主要研究方向: 虚拟现实, 图像处理, 智能信息处理。

达到一定的图像处理和目的。同样,它也有膨胀、腐蚀、开启、闭合等运算和增长、外延等操作和性质。具体可以参照[2]。

其中结构元素(函数)是欧氏空间或其子空间上一个指定的集合,具有一定的几何形状。在形态变换中的作用类似于信号处理中的“滤波窗口”,可以认为是一种收集目标信息的探针。它是形态学中最重要也是最基本的概念,是形态运算的关键所在。不同的结构元(函数)的选择将导致对不同几何信息的分析和处理的运算,也决定了变换所使用的数据分布形式和数据量,即决定了计算的复杂程度。因此说结构元决定了应用形态变换的目的和性能。结构元序列的选取异常灵活和多变,依据具体情况原则上可选取任意形状的结构元,在实验中可以多次尝试地选用它。

文章中选用不同的结构元素,采用交变序列滤波器(ASF)的多尺度滤波来提取信息。这种滤波器使用逐渐增加宽度的结构元素,交替地进行形态运算。在滤波过程中,适当地选择结构元素的尺寸是非常关键的。一般情况下,只要这些背景和噪声信息好分离,则可以利用开运算和闭运算的迭代运算或者闭运算和开运算的迭代运算加以分离。针对由开闭运算带来的偏移现象,可以后续采用混合滤波的方法来削弱它所带来的影响。

(2)检测算法流程如下:

①分析图像中待检测目标和噪声背景的图像属性,主要是图像结构信息:它包含像素、灰度范围、方向特性等。设待检目标图像是 $F(m, n)$ 。

②依据①中的分析,采用与目标具有最大近似而与噪声最大可能“相违背”的不同尺寸的结构元素对原图像进行形态学交替滤波处理,根据图像的特性采用合理的滤波次序,一般的是:目标和较多的背景噪声灰度值都偏高的图像,采用先开启后闭合的方式,达到抑制噪声而尽量少弱化目标图像的目的,得到滤波后的初步图像 $f_0(m, n)$ 。这里主要基于结构信息对图像进行处理。也可称为广义的形态学平滑滤波处理。

③在②中处理后的图像 $f_0(m, n)$ 会有些偏移,灰度值有些降低,目标图像有些模糊弱化因此图像有些退化。结构元素取得越大,噪声消除增强,图像的模糊退化也会有所增强。此时可以采用一定的恢复方法:噪声比较少时采用维纳滤波,噪声较多时采用有约束最小平方恢复滤波方法^[2]得到图像 $f_1(m, n)$ 。

④依公式 $H_{ave} = \frac{1}{m \times n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m f_1(i, j)$ 计算出图像灰度的均值,根据公式 $T = H_{ave} + \Delta$ 选取一个阈值 T ,并对图像 $f_1(m, n)$ 二值化,进行阈值分割处理,得到图像 $f_2(m, n)$ 。

⑤对图像 $f_2(m, n)$ 中的噪声和目标,灵活选用结构元素(逐渐减少宽度)交替施加形态学腐蚀、膨胀等处理,可以最终得到目标图像 $F(m, n)$ 。

(3)算法的复杂性:设图像矩阵是 $[m, n]$, 结构元素是 $[p, q]$, 滤波算子是 $[k, l]$, 则算法复杂性为:

$$(p * q * m * n) * M + (k * l * m * n) * N + m * n =$$

$$(p * q * M + k * l * N + 1) * m * n = O(m * n)$$

式中各参数为自然数,其中 M 为形态处理次数, N 为维纳滤波次数,为灰度值分析计算。

3 试验分析和结果

3.1 图像分析

文中的实验以一幅遥感图像(图1)为例进行分析,目标是提取淹没在图像背景噪声中的弱目标(铁路线)。从空域看,图像中背景噪声比较复杂,灰度值过渡平稳,自然背景的形状具有随意性,而人造目标(较规则的几何外形)具有较清晰的方向性。本文约定待检弱目标(铁路线)是线型外形,并把目标的方向性作为提取既定目标的一个特征依据,目标包含的像素比较少(垂直方向仅有2~4个像素),灰度值居中偏高,具有一定的方向性:为近似135°的曲线段。

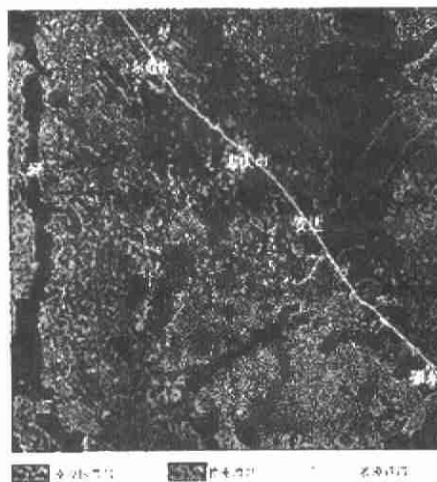


图1 大庆油田地区铁路、油井洪涝淹没分布图

3.2 前期滤波—形态学处理

依据3.1中分析的特点和要求,先采用数学形态学方法来处理,形态学方法可有针对性地灵活选择多种结构元素和变换方式,不同的结构元素对不同形状的对象具有不同的适应性。结构元素要适应待测目标,对某些目标进行减弱或加强,对另一些孤立的和非类似目标结构噪声点,可以采用结构元素给予去除。实验中设计使用开~闭组合形态滤波器,对于图(1)这种目标和较多背景灰度值都偏高的图像,应采用先开启后闭合的方式。

(1)对输入图像实行开启运算,运算式为: $A \cdot B = (A \ominus B) \oplus B$ (试验中结构元素 B 为 4×5 近对角阵。)

开启运算的原理是:首先腐蚀运算除掉了小的亮细节并同时减弱了图像亮度,然后膨胀运算恢复了图像的亮度但又不重新引入前面去除的细节,这样就消除或消弱了与结构元素相比尺寸较小的亮细节,而保持图像整体灰度值和大的亮区域基本不受影响。

处理结果如图(2)所示(除去上下的文字部分),已经可以比较清晰地看到铁路线的轮廓了。

(2)对开启运算的结果实施闭合运算,运算式为: $A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$ (试验中结构元素 B 为 5×6 近对角阵。)

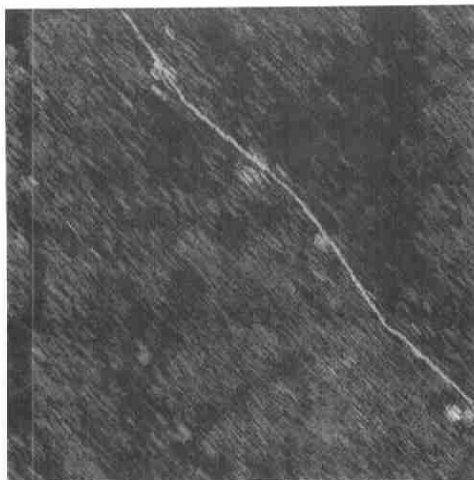


图2 开启运算结果

闭合运算的机理是:首先膨胀运算除掉了小的暗细节并同时增强了图像亮度,第二步的腐蚀运算恢复原亮度但又不重新引入前面去除的细节,这样就消除了与结构元素相比尺寸相异的暗细节,而保持图像整体灰度值和大的暗区域基本不受影响。可以看出整体亮度稍有提升但不影响检测。

处理结果如图(3)所示。经过上面的开启闭合运算后目标图像得到强化而背景被弱化,但是仍有噪声,比较模糊。

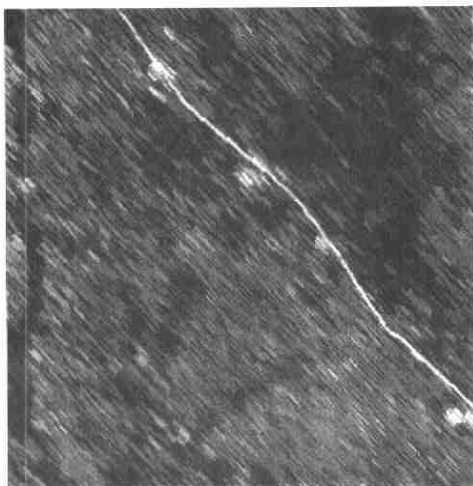


图3 闭合运算结果

3.3 图像恢复处理—维纳滤波

在3.2处理结果图(3)中,图像表现出来就是比较模糊,目标图像品质退化,且与目标相比较噪声已经较少,可以看成是一种近似模糊退化过程,此时宜选用适当的有约束恢复方法——维纳滤波,交替采用 3×3 和 4×4 滤波算子,可以达到恢复图像清晰度并去除一些噪声的效果。得到试验结果如图(4)。

3.4 图像灰度阈值分割

在遥感图像灰度上,由于目标和其他某些背景物质的散射特性不同,表现在图像灰度上就是灰度值会有一些差别,分析图(4)中图像的灰度值并绘制出立体图(图5),可以看到,目标的灰度值和背景噪声明显有些差别,因而可以选用适当的灰度阈值分割方法来去除低灰度值的背景噪声。一

般选取图像灰度值的平均值或其邻域值,根据公式 $T = H_{ave} + \Delta$, Δ 为 H_{ave} 的微调值,此处取25。此时得到的将是一幅包含目标特征的二值化图像。取反显示结果如图(6)。

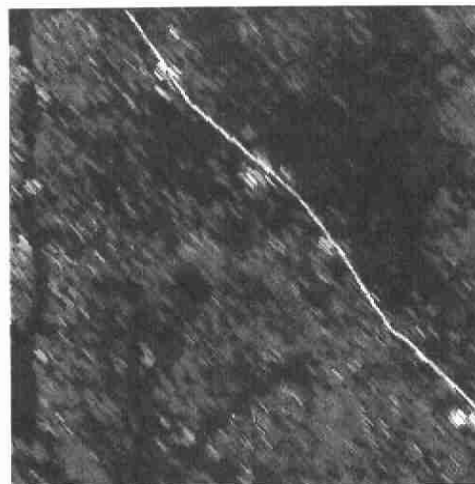


图4 维纳滤波结果

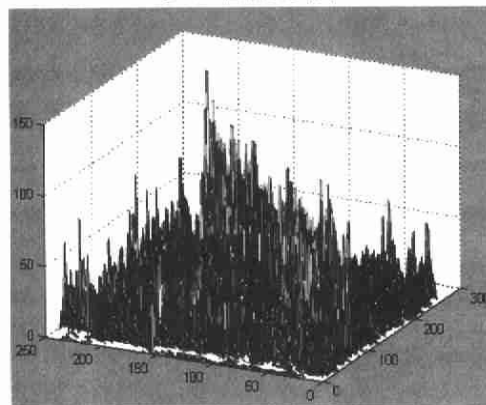


图5

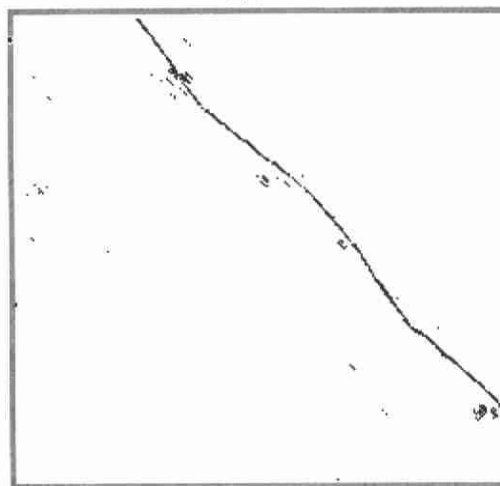


图6 阈值分割结果

3.5 后期形态学处理

在3.4处理结果图(6)中仍然有些噪声,因此要检测出弱目标,还是可以利用形态学算子来对这些孤立噪声点和区域作进一步的处理。对于此二值化的图像,首先进行形态学开启运算来去除图像噪声: $A \ominus B' = \{z | (B')_z \subseteq A\}$ 其中结构元素 B' 为 5×6 近对角阵,机理如前所述,得到结果如图(7)。图像目标已经基本识别出来了但仍有一些间断处,再可以选用适当的结构元素进行形态学膨胀的方法: $A \oplus B =$

$|z|(B) \setminus A \neq \emptyset$ 其中结构元素 B 为 4×6 , 得到结果如图(8)。此时已经达到了检测目的。

4 实验结果分析

在强干扰、低对比度的场景, 检测提取弱小目标是一个难题, 它要求算法既要准确地检测目标, 又要简易可行。从试验方法可以看出分离弱目标和背景噪声的关键在于抓住几何特征的差别, 恰当地灵活选择运用不同尺寸的结构元素

进行形态学运算得到多尺度信息并加以其他的处理方法就可以检测提取弱目标。由实验可见此复合算法在强噪声复杂背景的情况下比其他方法或单一的形态学方法能够更有效快速地检测弱目标。理论完备、方法简单、抗噪能力强。本文形态学滤波后得到了满意的弱目标图像, 如图8。论文所提出的算法可以很有效地识别出弱目标。方法简单、抗噪能力强, 而且数学形态学运算具有天然的并行性, 因此也能够实现快速算法, 可以很有效地达到预期的检测目标。

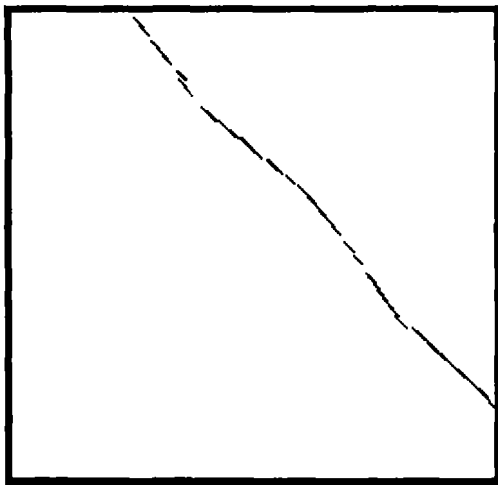


图7 再开启运算结果

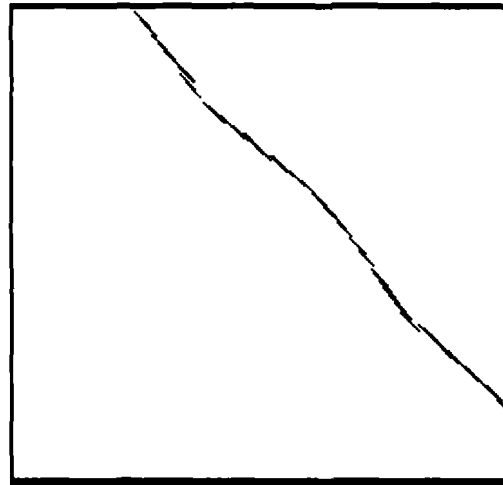


图8 膨胀运算结果

参考文献

- 1 崔屹. 图像处理与分析—数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- 2 冈萨雷斯. 数字图像处理(第二版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 3 马露乃. 遥感概论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- 4 J. Serra. Image analysis and mathematical morphology[M]. London: Academic Press, 1982.
- 5 Ji Shupeng, Ding Xiaoqing. Morphological filters and wavelet-based histogram equalization image enhancement for weak target detection[J]. 红外技术, 2003, 25(4).
- 6 Antonio Plaza, Pablo Martínez, Rosa Pérez, Javier Plaza. A new method for target detection in hyperspectral imagery based on extended morphological profiles [J]. IEEE Neural Networks and Signal Processing Group (GRNPS), 2003, 7(6): 21~25.
- 7 George Meghabghab, Abe Kandel. Valdosta state college/university of south florida new mathematical morphology operators and their applications [J]. ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, 1992: 426~32.
- 8 Eran Ohel, Stanley R. Rotman and Dan G. Blumberg. Detection of large targets in noisy hyper-spectral images [J]. IEEE 2004 23rd IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel 2004. Proceedings. 2004(9): 313~316.
- 9 王晓东. 计算机算法设计与分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

An Algorithm of Weak Target Detection from Remote Sensing Image Based on Mathematic Morphology

BI Jin-yuan, SONG Liang-tu

(Hefei Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Anhui 230031, China)

Abstract: Extracting the weak target from the weak image that with complex background is always an important and sophisticated theme. Satelliet image are charactrised by rich varied histogram and complex background noises. For that, this paper proposes a method that extracts the weak target from background, which includes strong noises and low contrast. With mathematical morphology, the paper focuses on weak target detection and explains a practical algorithm which can extract the fixed weak target from remote sensing image. And then verify the algorithm with processing a SAR image. Experiment proves that it is a theory-mature, simple, fast and efficient target detection algorithm.

Key words: weak target; remote sensing image; mathematical morphology