

· 处理技术 ·

数学形态学在地震相干属性提取中的应用

许海涛* 毕建军 唐红光 安晋朝 高星星

(中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083)

许海涛,毕建军,唐红光,安晋朝,高星星. 数学形态学在地震相干属性提取中的应用. 石油地球物理勘探, 2010, 45(4): 482~484

摘要 形态学运算的目的在于抽取图像的相关结构,这些结构可通过其子图表示为集合,可利用称之为结构元素的已知形状的另一集合对图像进行探测。形态学的基本运算如膨胀、腐蚀、开、闭等都需要结构元素的参与才能实现。文中通过对比形态学处理前、后地震资料的相干结果可知,形态学的滤波作用可以使断层与河道的表现更加明显,同时还可以清晰表现地质异常体中的断层,因此利用形态学滤波器处理地震资料可以提高相干效果。

关键词 数学形态学 滤波器 结构元素 相干效果

1 引言

数学形态学作为一门分析空间结构的理论,其目的在于分析目标的形状和结构。由形态学的基本运算组成的形态学滤波器是一种非线性滤波器,适合于两种滤波任务。首先,形态学滤波器可用于恢复被一些噪声污染的信号;其次,形态学滤波器可以有选择地去除信号中的结构或目标而保留其他部分,这种选择是基于目标信号的几何和局部对比度^[1]。很多线性滤波器可用于噪声信号滤波,但无法保留陡变边缘。鉴于形态学的滤波优势,可考虑将其应用于地震资料处理,进而提高相干效果。

2 形态滤波的基本原理^[1]

形态学运算的目的在于抽取图像的相关结构,这些结构可通过其子图表示为集合,可利用称之为结构元素(SE)的已知形状的另一集合对图像进行探测。形态学的基本运算如膨胀、腐蚀、开、闭等都需要结构元素的参与才能实现,下面介绍这几种基本运算。

(1) 二值图像的腐蚀 利用结构元素 B 对集合 X 的腐蚀表示为 $\epsilon_B(X)$,其定义为当 B 的原点在 x , B 包含于 X 内的 x 的所有轨迹点,即

$$\epsilon_B(X) = \{x \mid B_x \subseteq X\} \quad (1)$$

(2) 灰度图像的腐蚀 由下式表示灰度图像的腐蚀,即

$$[\epsilon_B(f)](x) = \min_{b \in B} f(x+b) \quad (2)$$

(3) 二值图像的膨胀 利用结构元素 B 对集合 X 进行膨胀表示为 $\delta_B(X)$,其定义为当结构元素原点在 x ,结构元素 B 击中集合 X 的 x 的轨迹点,即

$$\delta_B(X) = \{x \mid B_x \cap X \neq \phi\} \quad (3)$$

(4) 灰度图像的膨胀 由下式表示灰度图像的膨胀,即

$$[\delta_B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x+b) \quad (4)$$

(5) 开、闭运算 有关开、闭运算的定义需要用到反射的概念,即给定集合 D 和原点 o , D 的反射就是 D 相对于原点的对称

$$\check{D} = \{-x \mid x \in D\} \quad (5)$$

利用结构元素 B 对图像 f 做开运算 γ ,表示为 $\gamma_B(f)$,其定义为利用结构元素 B 腐蚀 f ,然后利用结构元素 B 的反射 \check{B} 做膨胀,即

$$\gamma_B(f) = \delta_{\check{B}}[\epsilon_B(f)] \quad (6)$$

利用结构元素 B 对图像 f 做闭运算 ϕ ,表示为 $\phi_B(f)$,其定义为利用结构元素 B 膨胀 f ,然后利用结构元素 B 的反射 \check{B} 做腐蚀,即

$$\phi_B(f) = \epsilon_{\check{B}}[\delta_B(f)] \quad (7)$$

对地震资料进行开运算,可以滤除与结构元素

* 北京市海淀区学院路丁11号硕07-1班,100083

本文于2009年10月10日收到,修改稿于同年11月4日收到。

相比尺寸较小的峰值噪声,而保持整体信号值基本不受影响。对地震资料进行闭运算,可以消除与结构元素相比尺寸较小的低谷噪声,而保持整体信号值基本不受影响^[2,3]。

3 信号模型的形态滤波

为了验证形态滤波对信号的滤波效果,选取图 1 所示的信号,其数学表达式为

$$y(t) = e^{at} \sin(bcdt)$$

式中: $a = -50$; $b = 2$; $c = \pi$; $d = 40\text{Hz}$; $t = 0 \sim 0.1\text{s}$, 时间间隔为 0.0001s 。

图 2 为对图 1 加入信噪比为 33 的白噪声后得到的噪声信号。然后用扁平结构元素 $(0.1, 0.1, 0.1)$ 对图 2 的信号进行开、闭运算,滤波后的信噪比为 74.673805(图 3)。由图 3 可以看出,经过形态滤波后,随机噪声被滤除,信噪比明显提高,并且信号的

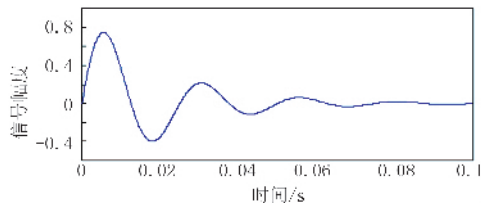


图 1 原始正弦信号

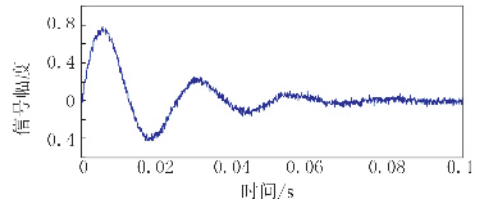


图 2 加入白噪声的信号

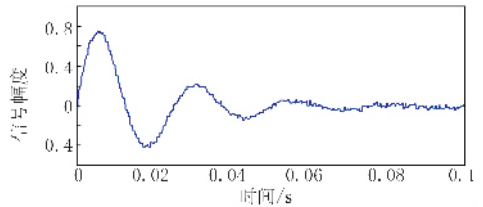
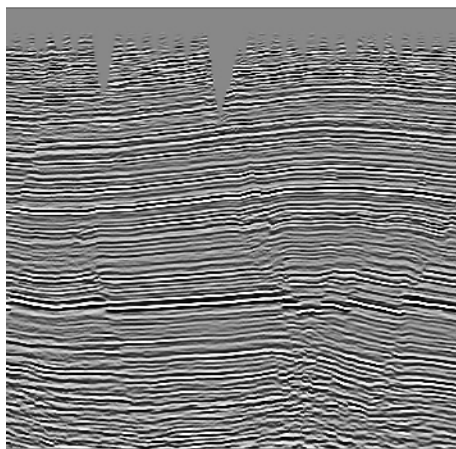


图 3 使用长度为 3 的开、闭滤波器滤波后的信号

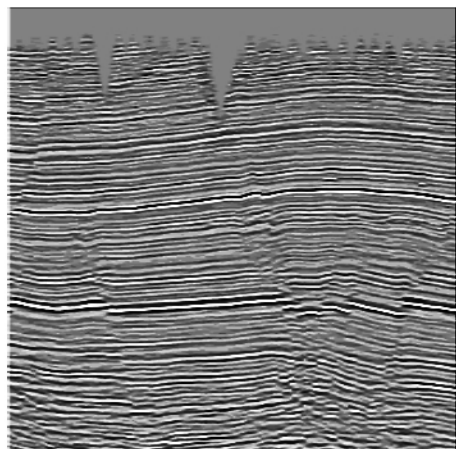
基本形状保持不变^[2,3]。

4 实际地震记录形态滤波

为了进一步检验形态滤波器的滤波效果,选取真实地震记录进行处理。在原始地震体上采用 3×3 的扁平结构元素进行形态滤波,滤波器选择开、闭贯穿组合运算。图 4 为地震记录灰度图像的处理效果,由图中可见,经过形态滤波器处理后图像(图 4b)较原始地震记录(图 4a)更加平滑,达到了提高信噪比的目的。



(a)



(b)

图 4 地震记录灰度图像的处理效果

(a)原始地震记录 Inline 剖面上的灰度图像; (b)经过开、闭滤波器处理后的 Inline 剖面图像

5 相干效果的比较

本文采用的相干技术是基于多道相似的第二代

相干技术,图 5 为形态滤波器处理前、后的地震体的相干时间切片,由图中可见:从断层、河道显示效果来看,经过形态滤波器处理后的地震体相干时间切片(图 5b、图 5d)要比没有经过形态滤波器处理的地

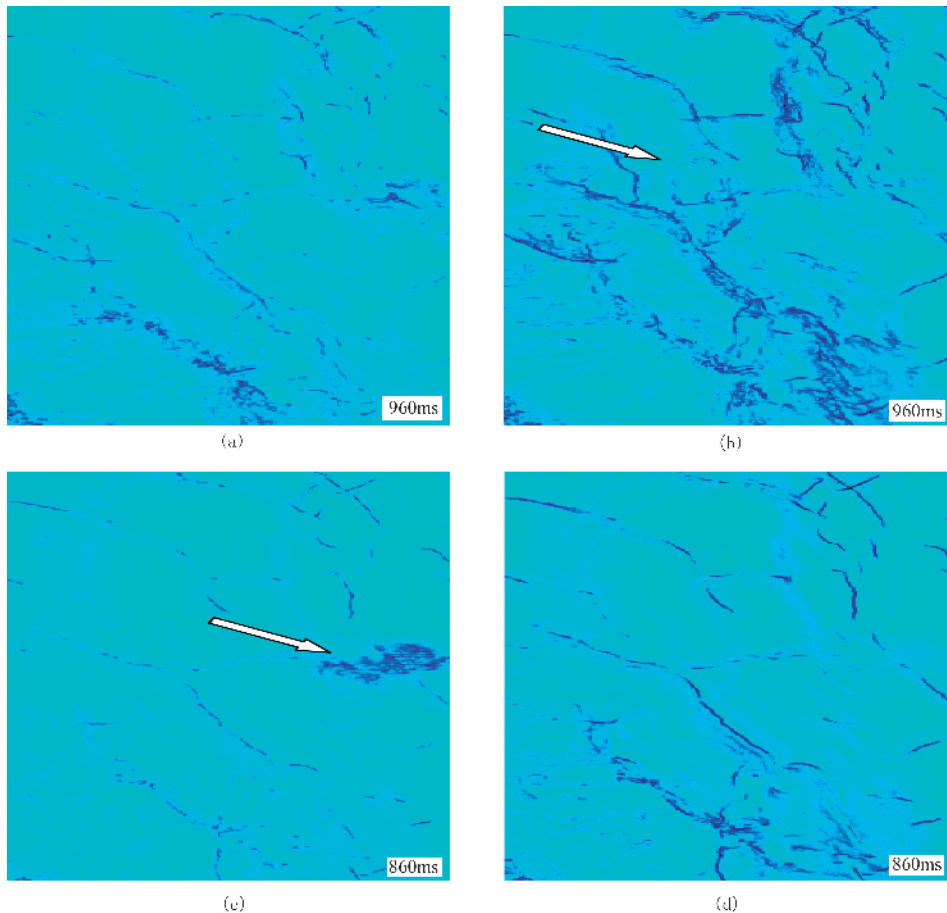


图5 形态滤波器处理前(a、c)、后(b、d)的地震体的相干时间切片

震体相干时间切片(图5a、图5c)中表现得清晰。如在图5b中的弯弯曲曲的河道(白色箭头所示)比图5a更加明显,在图5d上可识别出图5c中混杂在异常体中的断层。

6 结束语

作为研究数字图像形态结构特征与快速并行处理方法的理论,数学形态学的研究内容非常广泛,其中主要包括各类形态变换和形态分析。同时数学形态学还可以用来解决抑制噪声、边缘检测、特征提取、图像分割、形状识别、纹理分析、图像恢复和重建、图像压缩等问题^[1],数学形态学将会在地震处理、解释、反演、成图方面得到很好的应用。通过相干效果的对比可知,经过形态学开、闭滤波器处理后的地震体的相干效果要比没有经滤波的相干效果好。但文中方法在实际的应用中仍存在问题,即虽然结构元素的尺寸、形状和灰度值等参数的选取对

结果有重要影响,但却不易确定,需要根据经验来选择。一般来说,结构元素的尺寸越小越好,形状最好是圆盘状,其次为方形,灰度值不宜过大。

参考文献

- [1] 王小鹏. 形态学图像分析原理与应用(第二版). 北京: 清华大学出版社, 2008
- [2] 王润秋, 郑桂娟等. 地震资料处理中的形态滤波去噪方法. 石油地球物理勘探, 2005, 40(3): 277~282
- [3] 郑桂娟, 王润秋. 数学形态学在地震资料处理中的应用探索. 勘探地球物理进展, 2003, 26(4): 277~281
- [4] 祝海华. 基于时频分布的数学形态学的信号检测[硕士学位论文]. 陕西西安: 西安电子科技大学, 2008
- [5] 刘妹. 数学形态学在信号处理方面的应用研究[硕士学位论文]. 辽宁大连: 大连理工大学, 2006
- [6] 胡英. 数学形态学及其在地震信号处理中的应用[硕士学位论文]. 四川成都: 成都理工大学, 2005
- [7] 苑书金. 地震相干体技术的研究综述. 勘探地球物理进展, 2007, 30(1): 7~16

(本文编辑: 刘勇)