

自适应聚类 Hough 变换及地震断层检测^①

陈 雷^{②*} 肖创柏^{*} 禹 晶^{*} 张亚红^{*} 王真理^{**}

(^{*} 北京工业大学计算机学院 北京 100124)

(^{**} 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

摘 要 针对现有基于 Hough 变换的地震断层检测方法只能检测单个断层,不能准确检测多个断层的不足,提出了一种基于自适应聚类 Hough 变换的地震断层检测方法。该方法首先对预处理后的地震相干图像进行边缘检测并对边缘图像进行 Hough 变换以检测出边缘图像中的线段,然后根据倾斜角和位置信息对线段进行自适应聚类以获得更完整的线段,最后根据初始地震图像对完整线段中的各点进行调整以获得准确、平滑的断层。为验证该方法的有效性,在实际地震图像上进行了对比实验。实验结果表明,该方法可正确检测地震图像中的多个断层,正确率达到 90% 以上,与现有方法相比,峰值信噪比提高了约 10%。

关键词 Hough 变换,地震图像,线段,断层检测,自适应聚类

0 引 言

断层(fault)是地壳岩石受力作用断裂后,两侧岩块沿断裂面发生显著位移的断裂构造,是地震图像中层次断开的地方。断层检测是地震解释中的关键环节,对于石油和天然气的准确勘探具有重要的意义。传统方法是人工在地震图像上选取层位不连续点并将不连续点连接成断层线。这种方法比较准确,但较费时。为克服人工方法的不足,自动断层检测方法获得了广泛研究。

最早的自动断层检测方法是三代经典的相干体算法(C1 ~ C3)。Bahorich 等人提出了基于三个地震道之间相关性的第一代相干体算法 C1^[1]。Marfurt 等人提出了基于立方体或椭圆体内多地震道之间相关性的第二代相干体算法 C2^[2]。Gersztenkom 等人基于主成分分析思想,将相关窗口内地震数据协方差矩阵的最大特征值在所有特征值中所占的比例作为相关系数来进行断层检测,提出了第三代相

干体算法 C3^[3]。这三代相干体算法在地震解释中获得了广泛应用,但耗时较高,所得断层的准确度和信噪比均较低,这是它们共有的不足。近年来,多种基于地震数据属性的断层检测方法相继被提出,这些属性包括相干性^[4,5]、方差^[6]、曲率^[7]、梯度^[8]等。其中基于 Hough 变换的方法因时间消耗少、准确度高而获得了广泛研究。AlBinHassan 和 Marfurt 最早提出了基于 Hough 变换的断层检测方法,但检测结果为误差较大的直线^[9],原因是他们没有在 Hough 变换之前进行边缘检测,而是对相干图像中每个像素点直接进行了 Hough 变换。最近,Wang 等人提出了一种新的基于 Hough 变换的断层检测方法^[10,11]。他们以相干属性作为不连续特征图,先对相干图像进行边缘检测,再用传统 Hough 变换^[12]检测边缘图像中的线段,最后将检测出的线段视为属于同一条完整的直线并将各线段首尾连接以确定断层。当地震图像中仅存在一条断层时,这种方法可以获得准确、平滑的断层;当存在多条断层时,这种方法不再适用,因为这种情况下传统 Hough 变换

① 国家自然科学基金(61501008)和北京市自然科学基金(4162007)资助项目。
② 男,1981 年生,博士生;研究方向:模式识别与计算机视觉;联系人,E-mail: ch913@126.com
(收稿日期:2016-10-25)

检测出的分散线段并不是属于同一条直线,而是属于不同的完整直线。

针对 [10, 11] 中方法的不足,在对现有聚类^[13-15]方法进行分析的基础上,本文提出了一种自适应聚类 Hough 变换方法,先根据倾斜角和位置信息对传统 Hough 变换检测出的线段进行自适应聚类,然后将类别相同的线段整合成一条完整的直线,最后基于完整的直线实现对断层的检测。

1 传统 Hough 变换原理及不足

1.1 传统 Hough 变换原理

Hough 变换是当前广泛应用的一种直线检测方法。它是通过将直线从图像空间变换到参数空间来实现直线检测的。这里,直线在图像空间和参数空间中均用参数方程表示,若用一般方程表示,所得结论相同。设直线在图像空间中的参数方程为

$$x \cdot \cos \theta_0 + y \cdot \sin \theta_0 = \rho_0 \tag{1}$$

则直线上任意一点 (x_0, y_0) 都可在参数空间中确定一条正弦曲线(一般方程时为直线),曲线的方程为

$$\rho = x_0 \cdot \cos \theta + y_0 \cdot \sin \theta \tag{2}$$

图像空间中直线上的每个点在参数空间中确定的正弦曲线一定相交于点 (θ_0, ρ_0) ,基于此原理^[12],传统 Hough 变换通过统计参数空间中某一位置上相交的正弦曲线的数目来实现图像空间中直线的检测。通过传统 Hough 变换对图像空间中的直线进行检测的原理如图 1 所示。

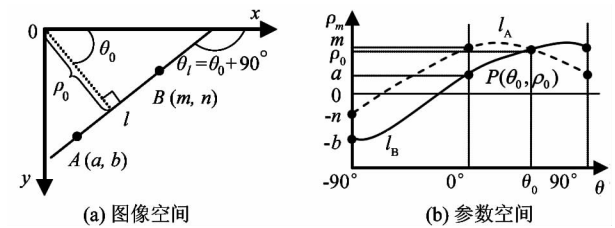


图 1 传统 Hough 变换原理图

图 1(a) 中所示为直线在图像空间中的表示,直线 l 的方程为式(1), θ_0 为 l 的法线与正方向沿顺时针方向的夹角, θ_l 为 l 的倾斜角,即 l 与 x 正方向沿

顺时针方向的夹角, θ_l 与 θ_0 间的关系如下式所示:

$$\theta_l = \theta_0 + 90^\circ \tag{3}$$

图 1(a) 中 ρ_0 表示直线 l 与原点之间的距离。 A 、 B 表示直线 l 上坐标分别为 (a, b) 和 (m, n) 的两个点。图 1(b) 中所示为图 1(a) 中的直线 l 经 Hough 变换后在参数空间中的表示(以 A 、 B 两点为例)。实线型和虚线型曲线分别表示 A 、 B 两点经过 Hough 变换后在参数空间中所对应的正弦曲线。由两条曲线交点 P 的坐标 (θ_0, ρ_0) 可确定图像空间中直线 l 的方程。通过图 1(b) 中每条曲线在 θ 为 -90° 、 0° 时的 ρ 值可确定相应点在图像空间中的位置。Hough 变换利用参数空间中正弦曲线数目为极值的点(如 P)来确定图像空间中的线段(由过极值点的正弦曲线在 -90° 、 0° 处的 ρ 值确定线段的端点)。

1.2 传统 Hough 变换的不足

当直线上各线段严格属于同一条直线时,传统 Hough 变换可以很好地检测直线,但当各线段有微小错动时,不能正确地检测直线。实际中,待检测的直线多为不完整的,而且属于同一直线的各线段难以保证严格地处于一条直线上,这导致传统 Hough 变换在实际应用中效果不理想。如图 2 和图 3 中所示。

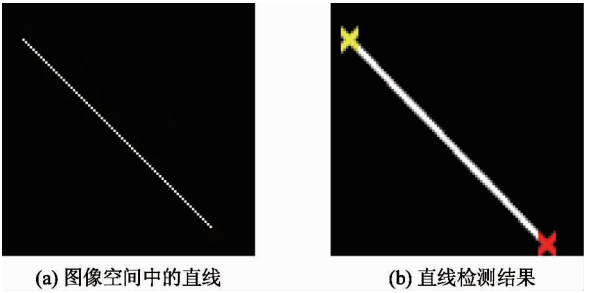


图 2 传统 Hough 变换对严格直线的检测

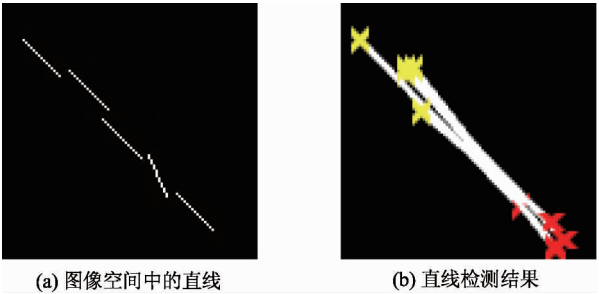


图 3 传统 Hough 变换对实际直线的检测

图 2(a)中所示是待检测的严格直线,图 2(b)中所示是传统 Hough 变换的直线检测结果,这种情况下,传统 Hough 变换可以准确地检测直线。图 3(a)中所示是待检测的实际直线,这是实际中普遍存在的情况,图 3(b)中所示是传统 Hough 变换的直线检测结果,这种情况下传统 Hough 变换不能正确地检测出图像中的直线。

2 自适应聚类 Hough 变换及断层检测

针对传统 Hough 变换的不足,本文提出了一种自适应聚类 Hough 变换,将传统 Hough 变换检测出的线段进行自适应聚类,以得到准确、完整的直线。

2.1 自适应聚类 Hough 变换原理

以图像中有两条直线为例,设传统 Hough 变换的直线检测结果如图 4(a),自适应聚类 Hough 变换的目的是得出图 4(b)中所示的直线检测结果。

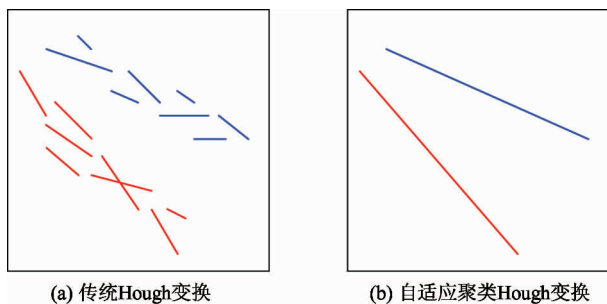


图 4 自适应聚类 Hough 变换目的说明

对线段聚类时,依据的是线段与作为聚类中心的线段之间的倾斜角差和距离,它们的定义如图 5 所示。

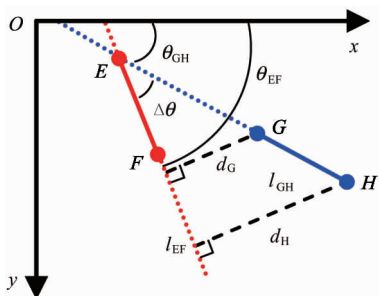


图 5 倾斜角差和距离的定义

其中,线段 EF 为聚类中心,线段 GH 为待聚类的线段。 l_{EF} 为线段 EF 所在直线,倾斜角为 θ_{EF} , l_{GH} 为线段 GH 所在直线,倾斜角为 θ_{GH} , $\Delta\theta$ 为 l_{EF} 与 l_{GH} 的倾斜角差, d_G 和 d_H 分别为线段 GH 的端点 G 和端点 H 到直线 l_{EF} 的距离。倾斜角差 $\Delta\theta$ 的计算如下式所示:

$$\Delta\theta = \|\theta_{GH} - \theta_{EF}\| \quad (4)$$

线段 GH 与聚类中心 EF 之间距离的计算如下式:

$$d_{GH} = \max(d_G, d_H) \quad (5)$$

d_G 和 d_H 的计算如下式所示:

$$d_G = \|x_G \cdot \cos\theta_0 + y_G \cdot \sin\theta_0 - \rho_0\| \quad (6)$$

$$d_H = \|x_H \cdot \cos\theta_0 + y_H \cdot \sin\theta_0 - \rho_0\| \quad (7)$$

其中, x_G, y_G 分别表示 G 点的列坐标和行坐标, x_H, y_H 分别表示 H 点的列坐标和行坐标。 θ_0, ρ_0 为直线 l_{EF} 参数方程(式(1))中的参数。

2.2 自适应聚类 Hough 变换步骤

本文所提自适应聚类 Hough 变换的具体步骤如下:

(1) 用传统 Hough 变换检测图像中的线段,获得 Hough 变换矩阵和包含线段端点和倾斜角信息的线段集合。

(2) 根据在 Hough 变换矩阵中对应的极值点数值对线段排序,极值点的数值表示图像空间中相应线段上的像素点数。

(3) 通过循环对线段聚类。先选择极值点数值最大的线段作为聚类中心,然后依次计算各线段与聚类中心的倾斜角差和距离;当倾斜角差和距离均小于相应的阈值时,将相应线段与聚类中心归为一类,并将其从线段集合中删除;否则,就将线段作为新的聚类中心添加到聚类中心集合中,一次循环中最多增加一个聚类中心;当线段集合中所剩线段小于一定比例时,终止循环。

以上线段聚类算法的伪代码如下:

算法 1 线段聚类算法

```

while  $n/N < TL$  do
   $i = 1, f = 0$ 
  for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
    Computing  $\Delta\theta, d$ 
    if  $\Delta\theta < T\theta$  and  $d < TD$  then
       $Cluster(k) = [Cluster(k), Lines(i)]$ 

```

```
Delete Lines(i)
n = n-1
else
if f == 0 then
Cluster(k + 1) = Lines(i)
k = k + 1
f = 1
end if
end if
end for
end while
```

其中, n 为当前线段集合中的线段个数, N 为初始时线段集合中的线段个数, $T\theta$ 、 TD 和 TL 分别为倾斜角差、距离和线段数比例阈值, $Cluster$ 为聚类后各类线段的集合, $Lines$ 为待聚类的线段集合, $\Delta\theta$ 和 d 分别为当前线段集合中第 i 个线段与第 k 个聚类中心的倾斜角差和距离。经过线段聚类之后, $Cluster$ 中的每一个元素都是由相同类别的线段组成的集合。

(4) 聚类后, 类别相同的线段用来确定一条更加完整的直线。每类线段中最顶部线段的上端点作为完整直线的起点, 最底部线段的下端点作为完整直线的终点, 以此实现图像中直线的正确检测。

2.3 基于自适应聚类 Hough 变换的地震断层检测

文献[10,11]中所提基于传统 Hough 变换的地震断层检测方法只适用于地震图像中存在一条断层的情况, 当有多条断层存在时, 不能正确地检测出断层。本文提出的自适应聚类 Hough 变换方法可以有效地解决以上不足, 具体步骤如下:

(1) 获取相干图像并预处理。用文献[2]中的方法获得地震相干图像, 转换成二值图像并进行形态学滤波。

(2) 对预处理后的地震图像进行自适应聚类 Hough 变换。检测出地震图像中的完整直线, 这些直线由处于断层上的线段经过聚类整合而成。

(3) 断层调整。为获得更加准确的断层, 根据初始地震灰度图像对步骤(2)中所得的完整直线进行调整、平滑滤波, 以得到平滑、准确的断层。

(4) 断层标注。将检测到的断层在初始地震图像中进行标注并输出。

3 实验和分析

为验证所提方法的有效性, 先用 Matlab 工具箱中的电路图像 circuit.tif 与传统 Hough 变换进行了直线检测对比; 然后, 将基于自适应聚类 Hough 变换的地震断层检测方法与其他方法进行了试验对比, 试验数据为中国石油天然气股份有限公司提供的中国西部某工区的 300 帧地震图像(含单个断层、多个未交叉断层和多个交叉断层的地震图像各 100 帧), 其中, 含单个断层和多个交叉断层的地震图像大小均为 301×101 像素, 含多个未交叉断层的地震图像大小为 301×301 像素。试验工具: Matlab2015a。

3.1 电路图像直线检测对比

用传统 Hough 变换和自适应聚类 Hough 变换对电路图像进行直线检测, 所得的结果如图 6 所示。

图 6(a)是电路图灰度图像, (b)是用 canny 边缘检测算子进行边缘检测的结果, (c)是传统 Hough 变换直线检测的结果, (d)是自适应聚类 Hough 变换直线检测的结果。

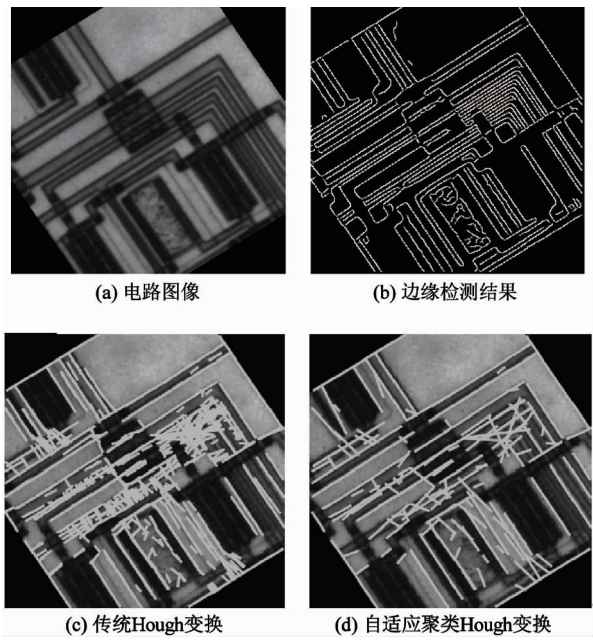


图 6 电路图像直线检测对比

由图 6(c)图与(d)图的对比可知,当各分散线段严格属于一条直线时,传统 Hough 变换与自适应聚类 Hough 变换都可以正确地将直线检测出来;当各个线段之间有微小错动、线段较为分散时,传统 Hough 变换不能得出正确的直线结果(如图(c)中密集的小线段),自适应聚类 Hough 变换可以得到更加准确的结果(如图 6(d)),从而验证了本文所

提自适应聚类 Hough 变换的有效性。

3.2 地震图像断层检测对比

为验证所提自适应聚类 Hough 变换方法在地震断层检测中的有效性,将其与人工断层检测方法、C3 方法、文献[10,11]所提出的基于传统 Hough 变换的地震断层检测方法进行了试验对比和分析,所得的断层检测结果如图 7 ~ 图 9 所示。

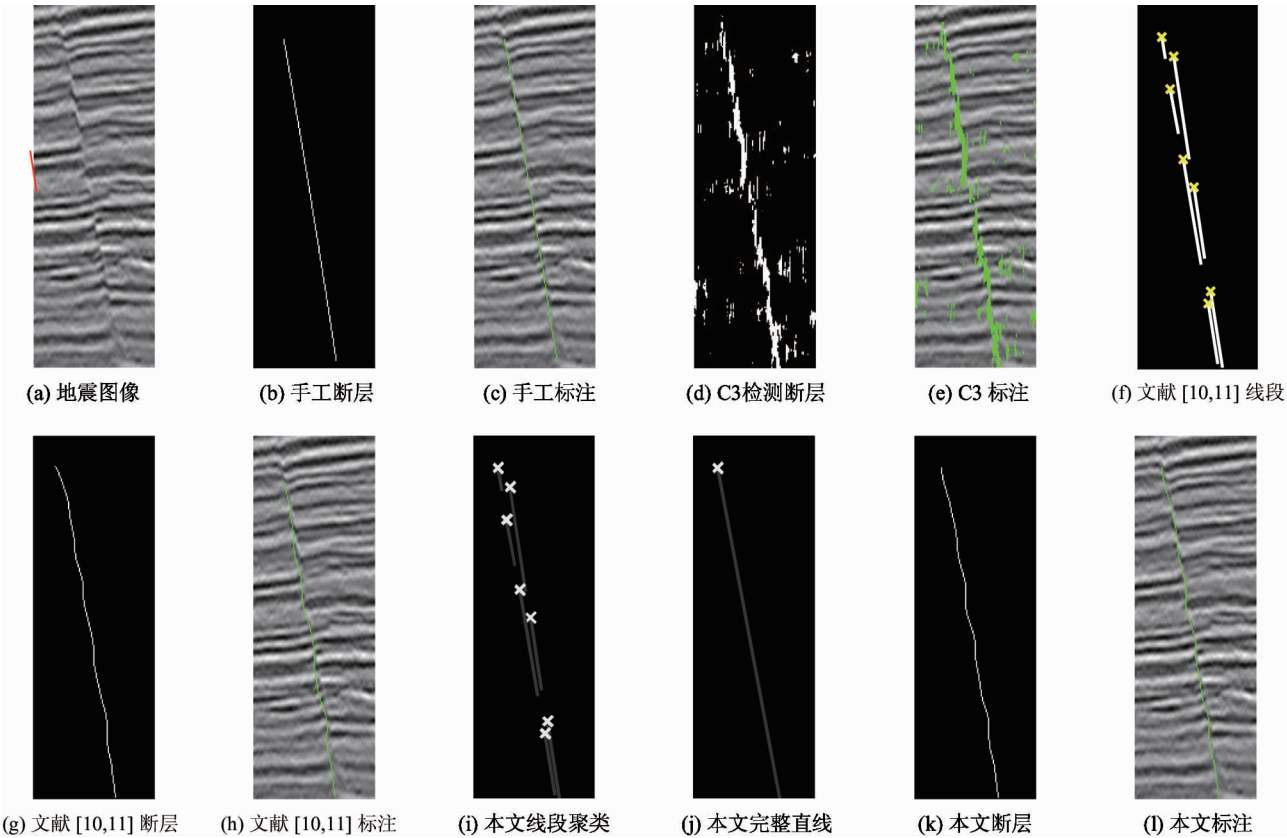
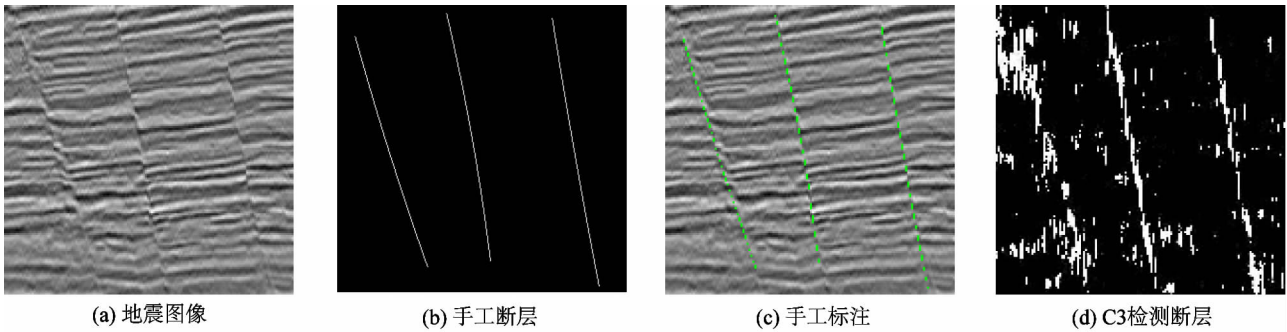


图 7 地震图像中含有单个断层的情况



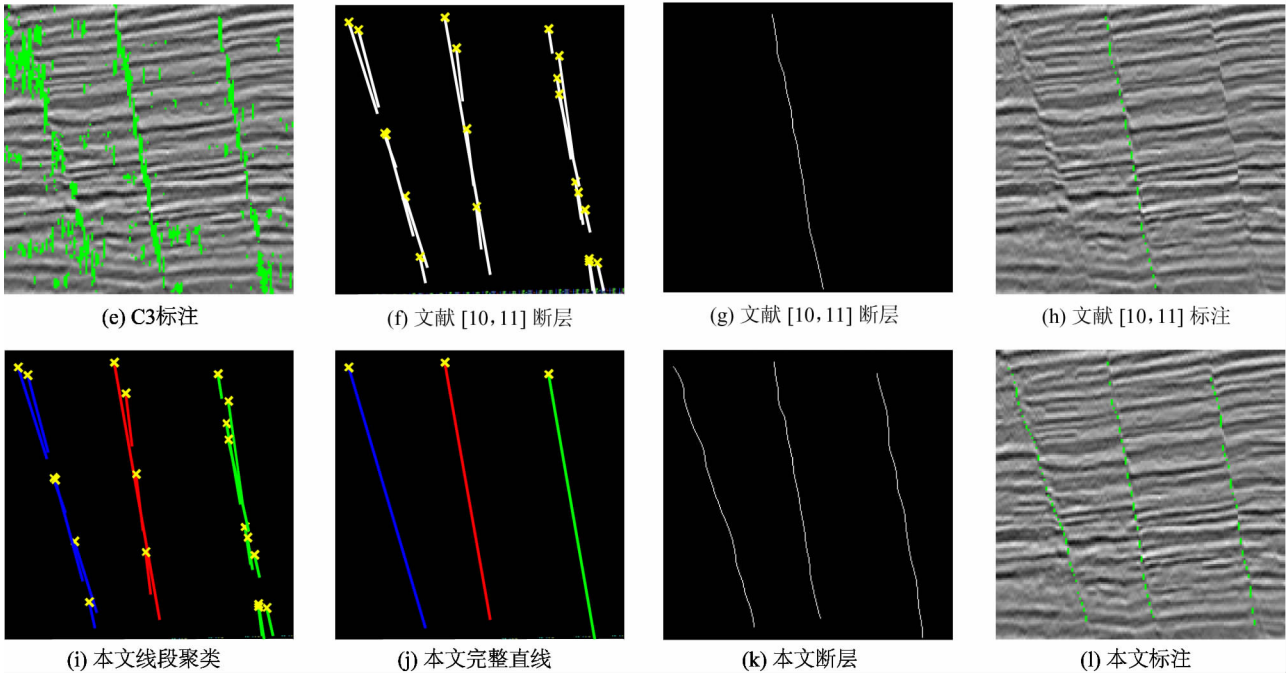


图 8 地震图像中含有多个未交叉断层的情况

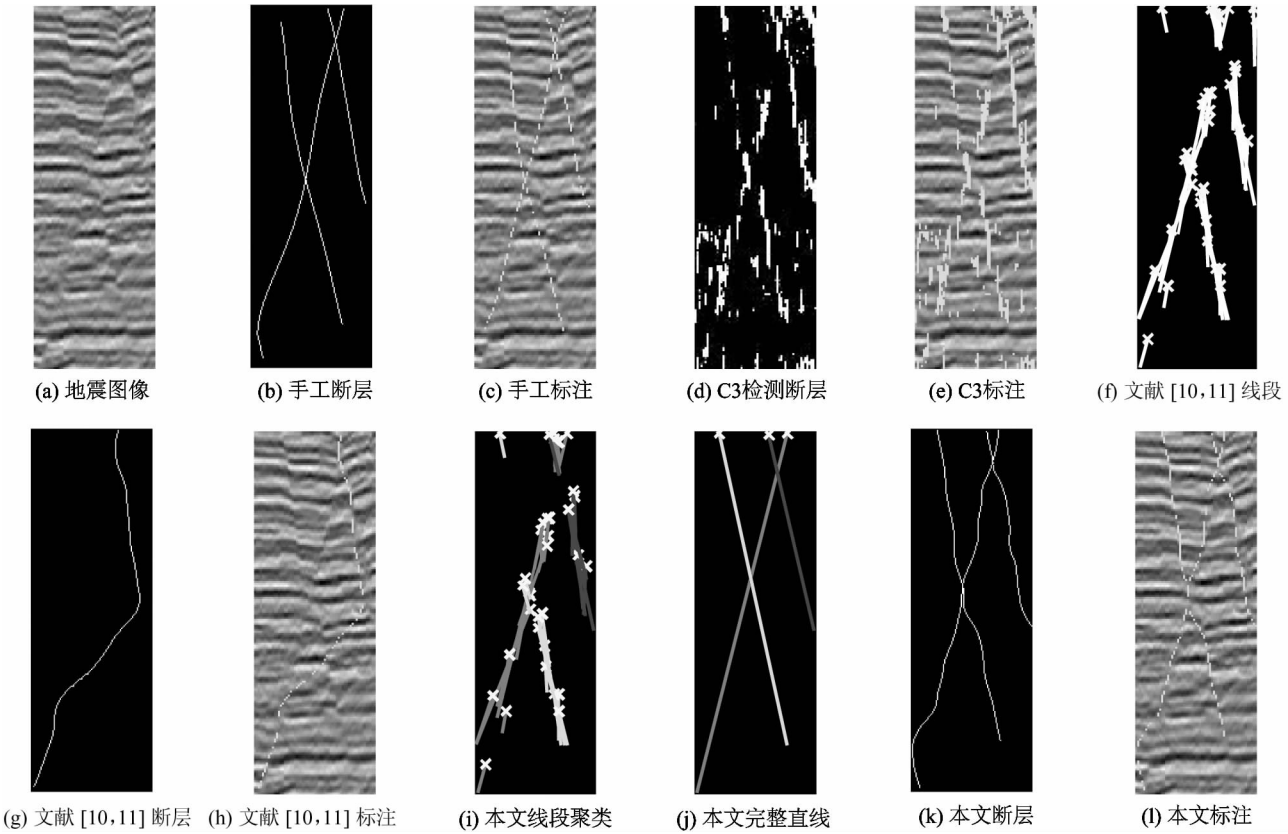


图 9 地震图像中含有多个交叉断层的情况

图 7 ~ 图 9 中, (a) 为地震图像; (b) 是手工方法所得断层; (c) 是将手工所得断层在地震图像中标注的结果; (d) 是 C3 检测出的断层; (e) 是将 C3 所得的断层在地震图像中标注的结果; (f) 是文献 [10, 11] 所提方法检测出的线段; (g) 是文献 [10, 11] 所提方法检测出的断层; (h) 是将文献 [10, 11] 中方法所得断层在地震图像中标注的结果; (i) 是本文自适应聚类 Hough 变换方法对线段进行聚类的结果, 同灰度的线段为一类, 属于一条更加完整的直线; (j) 是由同类线段整合成的完整直线; (k) 是本文方法检测出的断层; (l) 是将本文所得断层在地震图像中标注的结果。

由图 7 ~ 图 9 中的断层检测结果可知: 在任何情况下, 手工检测出的断层都较准确, C3 算法检测出的断层噪声较多、难以准确分辨断层位置; 文献 [10, 11] 的方法在地震图像中含有单个断层时可以得出比手工和 C3 方法更准确、清晰的断层结果, 但当地

震图像中含有多个未交叉断层和多个交叉断层时, 均不能得出正确的断层结果。本文所提出的基于自适应聚类 Hough 变换的断层检测方法, 在各种情况下都可以获得比手工方法更准确、清晰的断层结果。

为进一步验证所提方法的有效性, 本文对地震图像中含单个断层时不同方法在每一帧地震图像上的时间消耗和检测出的断层数、地震图像中含多个未交叉断层时不同方法在每一帧地震图像上的时间消耗和检测出的断层数以及地震图像中含多个交叉断层时不同方法在每一帧地震图像上的时间消耗和检测出的断层数分别进行了统计, 各种情况下的时间消耗和断层数对比如图 10 ~ 图 12 中所示 (因 C3 方法不能得出地震图像中的断层数量, 故在断层数对比中不包括 C3)。地震图像中含单个断层、多个未交叉断层和多个交叉断层时, 各方法的平均时间消耗和检测出的断层总数分别如表 1 和表 2 所示。

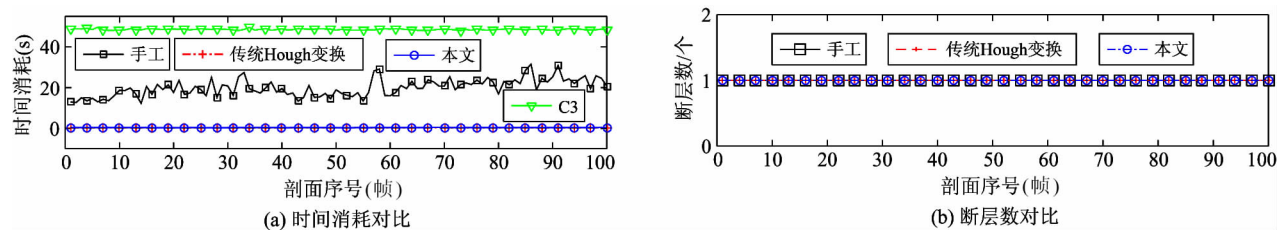


图 10 地震图像中含单个断层时的时间消耗和检测出的断层数对比

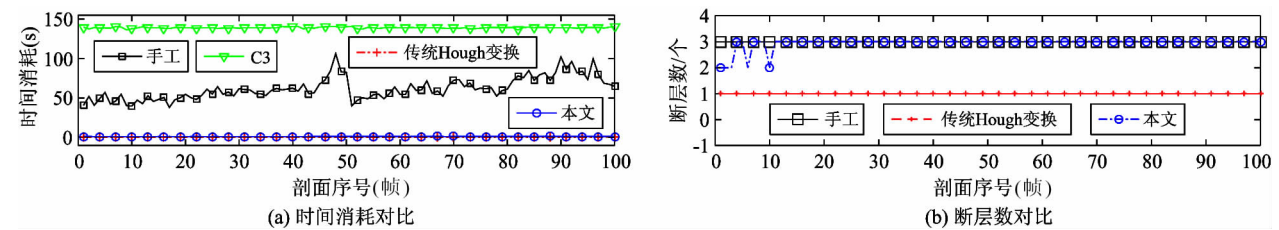


图 11 地震图像中含多个未交叉断层时的时间消耗和检测出的断层数对比

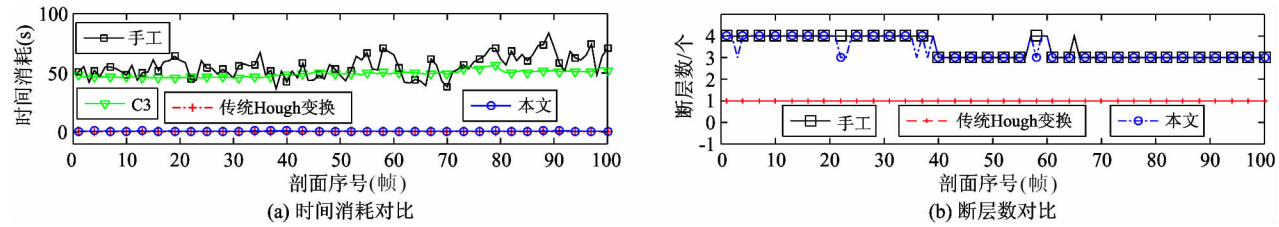


图 12 地震图像中含多个交叉断层时的时间消耗和检测出的断层数对比

表 1 断层检测平均时间消耗对比

断层检测 方法	平均时间消耗		
	单个断层	多个未交叉 断层	多个交叉 断层
手工方法	19.9288	61.9970	55.6799
C3	48.5952	139.0969	49.1828
传统 Hough 变换	0.3196	0.5762	0.4565
本文方法	0.3658	1.2176	0.8586

表 2 断层检测所得断层数对比

断层检测 方法	断层数		
	单个断层	多个未交叉 断层	多个交叉 断层
手工方法	100	300	344
C3	×	×	×
传统 Hough 变换	100	100	100
本文方法	100	295	337

由图 10 ~ 图 12 的图(a)及表 1 数据可知:文献 [10,11]的方法的时间消耗最少,本文方法稍长,这是因为线段自适应聚类消耗了一定的时间,但多消耗的时间均少于 1s;当地震图像中含单个断层和多个未交叉断层时,手工方法的时间消耗少于 C3,而当含有多个交叉断层时,手工方法的时间消耗多于 C3,原因是在前两种情况下,断层较简单,人工可以容易地将断层检测出来,当含有多个交叉断层时,断层结构较复杂,人工需要花费更多的时间。

由图 10 ~ 图 12 的图(b)及表 2 的数据可知:当含有单个断层时,文献[10,11]的方法和本文方法均可得出与手工方法一致的断层数;当含有多个未交叉和多个交叉断层时,文献[10,11]的方法不能得出正确的断层数,而本文方法仍可得出与手工方法基本一致的断层数,正确率约分别为 96% 和 95%,验证了所提方法在断层数方面的有效性。

为客观上验证本文方法的有效性,本文仍以手工方法所得的结果为标准,对各方法所得检测结果的峰值信噪比 (peak signal to noise rate, PSNR) 进行了对比。PSNR 的计算如下式所示:

$$PSNR = 10 \times \lg\left(\frac{p^2}{MSE}\right)$$
 (8)

其中 p 由用户设定或取数据类型的最大值,本文设定为 255。 MSE 为均方误差,计算如下式所示:

$$MSE = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I_{ij} - I'_{ij})^2$$
 (9)

其中 M 、 N 为的地震图像的列数和行数, I_{ij} 表示手工所得断层图像中 (i,j) 处的像素值, I'_{ij} 表示手工之外的其他方法所得断层图像中 (i,j) 处的像素值。

基于以上计算方法,各方法所得检测结果的 PSNR 分别如图 13 ~ 图 15 所示,表 3 所示是各方法所得断层检测结果的平均 PSNR 对比。

由图 13 ~ 图 15 中各断层检测方法所得断层检测结果的 PSNR 对比及表 3 中的平均 PSNR 对比可知:C3 方法所得结果 PSNR 最低;当地震图像中含有单个断层时,文献[10,11]中所提方法与本文方法所得结果的 PSNR 和平均 PSNR 均相同;当地震图像中

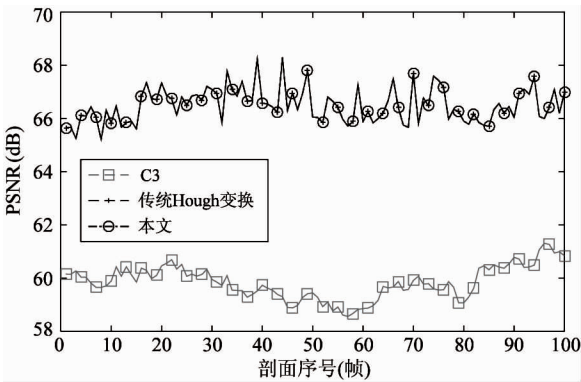


图 13 含单个断层时断层检测结果的 PSNR 对比

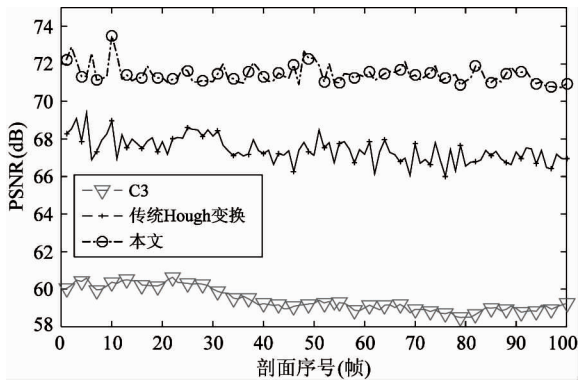


图 14 含多个未交叉断层时断层检测结果的 PSNR 对比

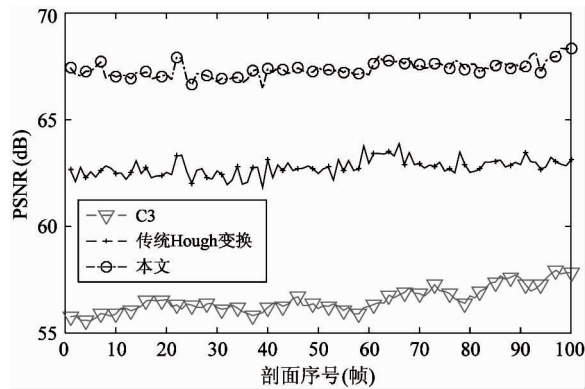


图 15 含多个交叉断层时断层检测结果的 PSNR 对比

表 3 平均峰值信噪比 (PSNR) 对比

断层检测方法	平均峰值信噪比 (PSNR)		
	单个断层	多个未交叉断	多个交叉断
C3	59.8382	59.4300	56.5378
传统 Hough 变换	66.4902	67.4258	62.7607
本文方法	66.4902	71.4357	67.3677

含有多个断层时,本文方法所得结果的 PSNR、平均 PSNR 均大于文献 [10,11] 中所提方法,平均 PSNR 约提高了 10%。因断层检测结果的 PSNR 越高,断层越清晰、准确,所以 PSNR 对比结果从图像的客观评价方面证实了本文所提方法的有效性。

通过以上对本文方法与其他方法在时间消耗、正确率和峰值信噪比三个指标方面的对比可知:与手工方法相比,本文方法的正确率和峰值信噪比稍低于手工方法,但本文方法的时间消耗远小于手工方法,综合考虑三个指标的情况下,本文方法优于手工方法;与 C3 方法相比,本文方法在时间消耗和峰值信噪比两个指标方面均优于 C3 方法,由于 C3 方法不能得出断层的数目而本文方法可以得出,所以在正确率指标方面本文方法也优于 C3 方法,综合考虑三个指标,本文方法优于 C3 方法;与文献 [10,11] 中所提方法相比,当地震图像中只有单个断层存在时,在时间消耗方面本文方法稍长于文献 [10,11] 中所提方法,在正确率和峰值信噪比两个指标方面,本文方法与文献 [10,11] 中所提方法基本相等,综合考虑三个指标的情况下,本文方法稍逊于文献 [10,11] 中所提方法,当地震图像中有多个未交叉断层或多个交叉断层

存在时,在时间消耗方面本文方法也稍长于文献 [10,11] 中所提方法,但在正确率和峰值信噪比两个指标方面,本文方法明显优于文献 [10,11] 中所提方法,综合考虑三个指标的情况下,本文方法优于文献 [10,11] 中所提方法。因为在对地震图像进行断层检测之前,地震图像中含有多少个断层是未知的,所以在综合考虑三个指标的情况下,本文方法优于文献 [10,11] 的方法。

4 结 论

本文提出了一种自适应聚类 Hough 变换方法,并将其成功地应用在了地震断层检测中,有效解决了现有基于 Hough 变换的地震断层检测方法只能检测单个断层,不能准确检测多个断层的不足。先是介绍了传统 Hough 变换的原理和不足,然后介绍了本文所提出的自适应聚类 Hough 变换方法的原理和具体步骤,接着介绍了基于自适应聚类 Hough 变换的地震断层检测方法。最后,通过实验验证了所提自适应聚类 Hough 变换方法的有效性以及基于自适应聚类 Hough 变换的地震断层检测方法的有效性,并对实验结果的客观评价指标进行了对比分析。实验结果证明了所提方法的有效性。对所提算法进行优化,是进一步的研究方向。

参考文献

[1] Bahorich M S, Lopez J, Haskell N L, et al. Stratigraphic and structural interpretation with 3-D coherence. In: Proceedings of the 65th Annual International Society of Exploration Geophysicists Meeting, Houston, USA, 1995. 97-100

[2] Marfurt K J, Kirlin R L, Farmer S L, et al. 3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm. *Geophysics*, 1998, 63(4): 1150-1165

[3] Gersztenkorn A, Marfurt K J. Eigenstructure-based coherence computations as an aid to 3-D structural and stratigraphic mapping. *Geophysics*, 1999, 64(5): 1468-1479

[4] Wang S X, Yuan S Y, Yan B P, et al. Directional complex-valued coherence attributes for discontinuous edge detection. *Journal of Applied Geophysics*, 2016, 129: 1-7

[5] 蔡涵鹏,胡光岷,贺振华等. 基于非线性变时窗相干算

法的不连续性检测方法. 石油地球物理勘探, 2016, 51 (2): 371-375

[6] 汪杰, 汪锐. 基于方差相干体的断层识别方法. 工程地球物理学报, 2016, 13 (1): 46-51

[7] 印兴耀, 高京华, 宗兆云. 基于离心窗倾角扫描的曲率属性提取. 地球物理学报, 2014, 57 (10): 3411-3421

[8] Song J G, Mu X, Li Z, et al. A faults identification method using dip guided facet model edge detector. In: Proceedings of the 82nd Annual International Society of Exploration Geophysicists Meeting, Las Vegas, USA, 2012. 1-5

[9] AlBinHassan N M, Marfurt K J. Fault detection using Hough transforms. In: Proceedings of the 73rd Annual International Society of Exploration Geophysicists Meeting, Dallas, USA, 2003. 1719-1721

[10] Wang Z, AlRegib G. Fault detection in seismic datasets using Hough transform. In: Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Florence, Italy, 2014. 2372-2376

[11] Wang Z, Long Z L, Alregib G, et al. Automatic fault tracking across seismic volumes via tracking vectors. In: Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Image Processing, Paris, France, 2014. 5851-5855

[12] Gonzalez R C, Wods R E. Digital image processing. Third edition. Beijing: Pearson Education, 2010. 755-760

[13] 张盛博, 刘娜, 霍宏等. 基于层次形状特征提取模型的图像分类. 高技术通讯, 2016, 26 (1): 81-88

[14] 周晨曦, 梁循, 齐金山. 基于约束动态更新的半监督层次聚类算法. 自动化学报, 2015, 41 (7): 1253-1263

[15] 张泽鑫, 李俊, 常向青. 基于特征加权的朴素贝叶斯流量分类方法研究. 高技术通讯, 2016, 26 (2): 119-128

Adaptive clustering Hough transform and fault detection

Chen Lei^{*}, Xiao Chuangbai^{*}, Yu Jing^{*}, Zhang Yahong^{*}, Wang Zhenli^{**}

(^{*} College of Computer Science and Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

(^{**} Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

In consideration of the problem that the traditional Hough transform based methods for seismic fault detection can only detect single fault while multiple faults can not be detected accurately, a new fault detection method based on adaptive clustering Hough transform was proposed. The method is described below: Firstly, edge detection is performed on the pre-processed seismic coherent image and the Hough transform of the edge image is performed to detect line segments. Then, the line segments are clustered adaptively according to their inclination angle and position to obtain a more complete line segment. Finally, each point on the complete line segment is optimized according to the original seismic image to make the fault more accurate and smoother. To berify the effectiveness of the proposed method, the experiments were done on real seismic images. The experimental results indicated that multiple faults in seismic images were detected correctly by the proposed method. The correct rate was above 90% , and the peak signal noise ratio was improved by 10% compared with current algorithms.

Key words: Hough transform, seismic image, line, fault detection, adaptive clustering