

地震图数字化技术中的倾斜校正和波形分割

郑学锋¹, 王 军¹, 吴国威², 胡 麒³, 陈书海¹

(1. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024; 2. 清华大学,
北京 100083; 3. 西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘要: 重点阐述了在对模拟地震图进行数字化处理过程中, 利用图中水平线信息完成倾斜校正以及利用中值滤波增强信号、自适应提取信号的波形分割技术。

关键词: 模拟地震图; 图像分割; 数字化技术; 几何校正

中图分类号: P315.63 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2001)02-0181-04

0 引言

从世界上第一台地震记录仪诞生至今, 在地震观测中一直使用模拟笔绘地震记录仪. 尽管数字化地震记录仪正在并最终将全部取代模拟笔绘记录仪, 但是, 在现在的研究工作中还需要利用过去的地震数据, 即模拟数据, 特别是一些不可重复的人工地震事件的模拟地震图. 而这些珍贵的资料是不能直接在计算机上进行处理的. 如何实现在计算机上处理与分析这些模拟数据, 是摆在人们面前的必须要解决的问题. 在地震部门, 模拟地震图的数字化研究工作起步于 90 年代初, 诸多学者致力于这项研究并取得了较大进展^[1~4]. 本文作者通过对模拟地震图的分析, 提出了模拟地震图的数字化处理流程^①, 并完成了地震图的倾斜校正、特征参数的提取、波形的弧形校正、记录笔长及走纸速度确定以及波形分割等环节, 其他方面的研究开发正在进行. 本文仅对其中的倾斜校正和波形分割技术进行阐述.

1 倾斜校正

由于扫描时模拟图纸很难保证完全端正, 扫描后得到的图像会发生倾斜偏转, 对这种偏转必须进行校正. 地震图中存在着大量的水平线, 分析其中水平线的斜率, 即可获得图像的倾斜偏转程度, 因此, 可以利用水平旋转的方法来进行倾斜校正.

1.1 计算水平线的斜率

为了获得水平线的斜率, 必须提取被扫描的地震图中的水平线. 首先, 用 $1 \times n$ 的中值滤波算子有效地增强、光顺水平线, 并使得非水平方向的强信号变得模糊, 使之不影响对水平线的提取. 然后进行水平线跟踪提取. 将被计算的图像中的每一个像素点向右的最大灰度方向及其强度记录在向右信息矩阵中. 在原图的每个 $n_1 \times 1$ 的窗口中选取一个向右强度最大的点

收稿日期: 2000-06-02

基金项目: 国防预研军控项目(56010380107).

作者简介: 郑学锋(1960-), 男(汉族), 陕西西安人, 高级工程师, 现主要从事信号与信息处理研究.

① 郑学锋. 模拟地震图数字化技术研究. 2001.

作为出发点. 对每个出发点 p 进行跟踪. 跟踪算法如下:

- 第一步: 设 p 为当前点.
- 第二步: 若当前点的最大向右强度小于某事先设定值, 过程中止.
- 第三步: 将当前点加入所找线.
- 第四步: 在当前点的最大向右方向选取下一个点作为当前点. 转第二步.

由于图像中的水平线一般比较长, 所以为了避免噪声的影响, 可以只保留长度大于一定门限的水平线.

最后, 进行水平线拟合. 上一步所得的线一般都不是完整的直线, 而是有一定长度的直线条集合, 只有对之进行直线拟合才能计算其斜率 K . 作者采用最小二乘法拟合获得了较好的结果.

1.2 水平旋转

根据图像空间变换的原理^[5,6], 设输入图像为 $f(x, y)$, 输出图像为 $g(x, y)$, 则:

$$g(x, y) = f(x', y') = f[a(x, y), b(x, y)] \tag{1}$$

其中:

$$x' = a(x, y), y' = b(x, y)$$

根据水平线的平均斜率 K , 即可获得原地震图像的旋转角度 $\theta = \pm \arctan(K)$. 对原图进行旋转运算, 即:

$$\begin{cases} x = x' \cos \theta + y' \sin \theta \\ y = -x' \sin \theta + y' \cos \theta \end{cases} \tag{2}$$

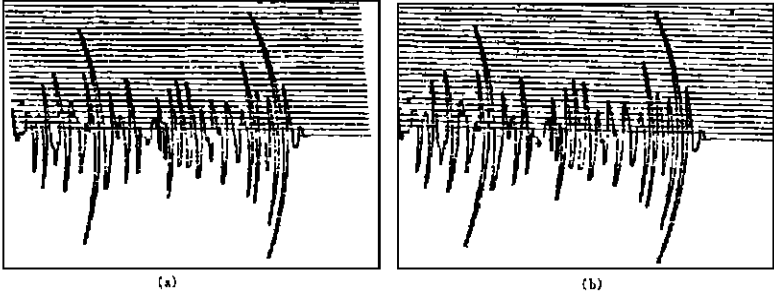
其中: $x, x' = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$; $y, y' = 0, 1, 2, \dots, (m-1)$.

图像的灰度校准采用双线性内插法^[3,5]: 设输出图像即旋转后的图像 g 的像素点 (x, y) 对应输入图像即旋转前的图像 f 的像素点 (x', y') . 一般来说, 当取 (x, y) 是整数时, 由式(2)计算的 (x', y') 不会是整数, 必然被 f 中的 4 个数字点 $(i, j), [(i+1), j], [i, (j+1)], [(i+1), (j+1)]$ 所包围, 即: $i < x' < (i+1), j < y' < (j+1)$. 利用这 4 个点的灰度级内插可以确定 g 中的点 (x, y) 的灰度级, 如式(3)所示.

$$g(x, y) = f(i, j)(1-\alpha)(1-\beta) + f[(i+1), j] \alpha(1-\beta) + f[i, (j+1)](1-\alpha)\beta + f[(i+1), (j+1)] \alpha\beta \tag{3}$$

其中: $i = [x']_{\text{INT}}, j = [y']_{\text{INT}}$, 对 x' 和 y' 取整, $\alpha = x' - i, \beta = y' - j$.

若 $x' < 0, y' < 0$, 或 x' 大于图像高度, y' 大于图像宽度, 则 $g(x, y) = 255$. 图 1(b)是对图 1(a)进行倾斜校正处理后的结果. 由图可见, 图 1(a)的倾斜较好地被校正了.



(a) 原始模拟地震图; (b) 经倾斜校正后的地震图

图 1 原始模拟地震图和倾斜校正后的结果

Fig. 1 Original seismogram and seismogram of correcting slope.

2 波形分割

在地震图中, 消去水平线是波形图像分割的关键.

2.1 信号波形增强

首先采用 $n \times 1$ 的中值滤波算子有效地增强、光顺近似垂直方向的波形信号, 并使得水平线变得模糊、淡化, 使之不影响对波形的进一步处理(图 2). 图 3 为对图 2 进行弧形矫正后的地震图.

2.2 波形分割

根据垂直方向增强处理过的模拟地震图图像的特点, 采用变域值自适应分割的方法, 可以有效地把波形信号和背景噪声区分开来. 在垂直向增强处理后的地震图中, 波形曲线的灰度总是小于其局部背景的灰度值, 采用把图像多次分块处理的方法, 可以确切地确定出信号波形的象元分布.

选取 $n \times n$ 像素点的窗口, 统计计算窗口象元的灰度平均值 M 和方差 S , 然后, 根据设定的域值 R 和 T 进行判断, 依次处理整幅图像. M 和 S 的值由下式确定:

$$M = \frac{1}{n^2} \sum_{j=-n/2}^{[n/2]} \sum_{k=-n/2}^{[n/2]} f[(x+j), (y+k)] \tag{4}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{j=-n/2}^{[n/2]} \sum_{k=-n/2}^{[n/2]} \{f[(x+j), (y+k)] - M\}^2} \tag{5}$$

具体算法如下:

第一步:

(1) 将待处理图像从起始象素($I = 0, J = 0$)起均匀分成 $n \times n$ 个互不相交的小块. n 一般取 5, 整幅图像即分为 $N = [\text{imgHeight}/n] \text{INT} \times [\text{imgWidth}/n] \text{INT}$ 小块.

(2) 对上述每个小块计算方差 $S_k (k = 0, 1, \dots, N)$. 若方差 S_k 小于设定值 R , 认为是背景区域或信号区域. 此时比较其灰度平均值 M 与全局平均灰度 T , 若 $M > T$, 则判断为背景, 全部置 255. 否则判断为信号区域, 予以保留.

(3) 若方差大于 R , 则认为是信号和背景同时存在, 此时利用

窗口灰度平均值 M , 对小块中每一点予以判断. 若其灰度小于平均值, 则判断为信号区域, 予以保留, 否则置 255.

设第一步所获的整幅分割图像为 P_{00} .

让 I 和 J 从 0 增至 $m (m = 5 \text{ 或 } 7)$, 循环执行第一步的运算, 所获分割图像为 $P_{01} \sim P_{mm}$.

对以上二步分割结果进行集合运算, 取所有分割图像中对应每个象素的最小值作为最后的图像分割结果, 即 $\min(P_{00}, P_{11}, \dots, P_{mm})$. 也就是对于原图上每一点, 只要在第一步或第二步有一次判断为信号, 则确定为信号点.

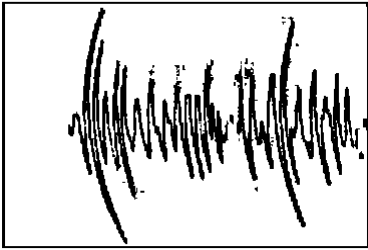


图 2 增强和光顺波形信号后的地震图
Fig. 2 Seismogram improved image quality.

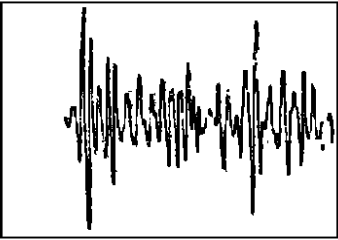


图 3 对图 2 进行弧形矫正的结果
Fig. 3 Seismogram corrected arc-distortion.

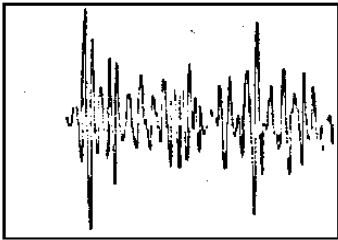


图 4 对图 3 进行波形分割的结果
Fig. 4 Seismogram of image segmentation.

处理结果如图 4 所示. 由图 4 可以看出, 波形信号已得到增强, 包含水平线和背景在内的噪声已被有效地抑制, 虽然存在部分离散噪声, 但不会影响后续的波形提取处理.

3 结语

通过以上的研究可以看出, 倾斜校正算法可以有效地消除由于扫描而产生的图像倾斜, 恢复出无畸变的原始地震图. 波形分割算法可以有效地增强波形信号, 抑制包含水平线和背景在内的噪声, 为有效地提取波形打好基础.

[参考文献]

- [1] 陈光, 张少泉. 模拟地震图数字化软件 DPS W 介绍[J]. 地震地磁观测与研究, 1995, 16(1): 42—45.
- [2] 李胜乐, 严尊国. 模拟地震记录波形数字化方法及软件设计[J]. 地壳形变与地震, 1997, 17(4): 46—51.
- [3] 肖锦玉, 叶浩, 刘政凯. 地震波的计算机自动提取——智能跟踪和细化[J]. 地球物理学报, 1992, 35(2): 262—265.
- [4] 匡丕东, 刘政凯, 余海能. 地震图中地震波形的自动提取方法研究[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4A(9): 769—772.
- [5] Kenneth R Castleman. Digital Image Processing[M]. Prentice Hall Inc 1996.
- [6] Gonzalez R C and Woods R E. Digital Image Processing[M]. Addison-Wesley 1992.

SLOPE CORRECTION AND WAVEFORM SEGMENTATION IN TRANSFORMING ANALOG SEISMOGRAM INTO DIGITAL DATA

ZHENG Xue-feng¹, WANG Jun¹, WU Guo-wei², HU Qi³, CHEN Shu-hai³

(1. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China;

2. Tsinghua University, Beijing 100083, China;

3. Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In the process to transform analog seismogram into digital data by using computer scanners, the seismogram image is detrended according to slope of horizontal baselines on original records. A median filtering technology is used to further improve image quality and seismic waveforms are adaptively retrieved by an image segmentation method. The method for correcting slope and image segmentation technology are introduced.

Key words: Analog seismic record; Image segmentation; Digitizing technology; Geometric correction