

# 地震图中地震波形的自动提取方法研究

匡丕东 刘政凯 余能海

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 合肥 230027)

**摘要** 讨论了地震图中地震波形的自动提取方法, 提出了一种适用性较强的水平校正和水平消除算法, 以及一种利用峰值与零点进行波形校正的算法, 归纳了波形提取中的各种波形模式并给出了智能化的波形搜索规则。

**关键词** 地震波 水平消除 波形校正 波形跟踪

## 0 引言

从古至今大多数地震信号都是通过模拟地震仪记录在地震图纸上的, 随着科学技术的发展, 数字地震仪将取代古老的模拟地震仪。但是, 这些记录在地震图纸上的数据是十分宝贵的历史数据, 为了充分利用这些数据, 便于利用现代化的处理手段进行研究, 需要把地震图进行数字化。由于地震图纸数据量大, 记录质量不好, 因此探讨地震图中地震波形的自动提取方法具有重要的理论研究意义和实用价值。地震图纸数字化过程包括地震图纸的扫描输入、图纸校正、地震波形自动提取和数据库录入等, 本文主要探讨地震波形自动提取中的关键技术。

## 1 地震波形数字化

### 1.1 地震波形水平校正

地震图纸中的水平线代表了波形的时间标准, 然而由于扫描的原因, 进入计算机的图象有一定程度的倾斜, 为了正确提取波形必须对地震图象进行水平校正。由于在地震图象中存在大量的水平线, 因此可以通过检测这些水平线的倾角进行水平校正。

由于图象中存在大量平行线段, 因此本文采用对图象的边缘进行 Hough 变换<sup>[1]</sup>来检测图象的倾斜角度。为了减少 Hough 变换的计算量, 我们在保证算法稳定的基础上使用随机 Hough<sup>[2]</sup>变换。实验的结果表明, 这种方法的效果很好。

### 1.2 水平线位置提取以及水平线的消除

为了提取地震波形需要从图象中消除水平线, 消除的效果将直接影响到波形提取模块的结果。然而由于地震记录仪的原因, 水平线中存在大量的抖动, 因此消除算法要能够适应各种水平线, 我们采用动态阈值和动态中心的方法来形成适应性较强的水平线消除方法。

#### (1) 位置提取

水平线的中心位置是水平线消除算法的出发点而且是定位时标的一个重要依据, 因此要求算法准确而且迅速。这里我们利用水平投影和求极值的方法可以求出水平线的中心位置。利用水平线在水平方向的投影的极值来求出水平线的中心位置。

提取极值的规则为:

计算水平投影  $H(i) = \sum_{j=1}^{width} f(i, j)$ ,  $width$  为

图象宽度

令  $d_l = H(i) - H(i-1)$ ,  $d_r = H(i) - H(i+1)$

如果  $d_l > 0$  &  $d_r > 0$ , 且  $\max(d_l, d_r) > MAXD$

那么认为第  $i$  行是某一水平线的中心位置。其中  $MAXD$  为一常数, 可以在实验中确定。实验结果表明这种方法比较稳定精确。同时利用水平投影可以准确检测出波形所在的水平线位置, 这就为以后的拼接提供了垂直匹配信息。

#### (2) 水平线的整理和消除

由于地震记录的特殊性以及图纸存放过久的原因, 地震图象的灰度变化较大, 而且水平线具有一定的宽度。为了保证消除的效果, 我们提出了动态阈值和动态中心检测方法。思想是利用已经检测到的水

平线垂直片段的灰度均值和位置作为下一步检测的条件和限制。设当前检测点为 $(x_0, y_0)$ ，在此点检测到的水平线的垂直片段的均值 $G'$ ，如果记在 $(x_0, y_0 - 1)$ 检测到的水平线垂直片段的均值为 $G''$ ，则下一点使用的阈值为 $(G' + G'')/2 - G_0$ ，其中 $G_0$ 是一个实验常数，然后再结合动态改变中心位置的方法，就能达到很好的效果。从图6(b)所给出的实验结果看出，这种方法要比直接检测效果好得多。

## 2 波形校正

地震记录仪多采用笔绘记录，由于记录笔的臂长有限，造成记录的地震波形存在弧形失真。这种失真在短周期地震波形图中尤为明显。地震波的数字分析需要对这种弧形失真进行校正，在文献[3]中都提到了利用 Hough 变换的方法来检测圆，但是在弧角度比较小的情况下很难检测到这些小张角的圆弧，而且由于地震记录时，记录纸同时在水平方向匀速运动，所以地震波的校正是一个比较困难的问题。这里我们提出一个利用波形峰值和波形与水平线的交叉点计算波形圆弧半径并进行波形校正的算法：

(1) 如图1所示，波形与水平线的交叉点为 $a$ ，峰值点为 $c$ 点，从图象中提取这三个点的位置；

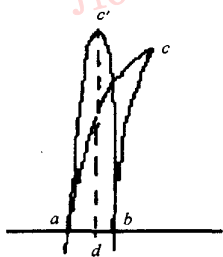


图1 半径提取

(2) 由于记录纸移动速度较慢，我们可以认为波形上升段 $ac$ 和下降段 $cb$ 的运动时间相同，那么如果没有波形失真的话， $c$ 点的水平位置应为 $a$ 与 $b$ 的中点 $d$ ，所以失真波形 $acb$ 校正后的波形应为 $ac'b$ ；

(3) 然后利用 $c, d$ 点及 $cd$ 的中垂线与水平线的交点就可求出半径 $R$ ；

(4) 根据半径 $R$ 对波形 $acb$ 进行校正，实验中，应统计大量的峰点和交叉点，以便求出的半径 $R$ 更精确。

## 3 波形提取

波形提取将利用上述预处理的图象输入波形提取模块，波形提取是以灰度连续为准则、以波形预测为跟踪策略的波形跟踪方法。算法流程如下：

(1) 从起始点 $(0, y_0)$ 开始(其中 $y_0$ 为波形的中心位置)，搜索有效的波形点，找到有效的点并在 $y$ 方向上扩展为波形片段，记录为 $(x, y_{up}, y_{down})$ ；

(2) 以 $(x, (y_{up} + y_{down})/2)$ 为起点，沿 $-x$ 轴方向搜索波形有效点，找到后加入波形链中。然后再以 $(x, (y_{up} + y_{down})/2)$ 为起点，沿 $+x$ 轴方向搜索波形有效点，找到后加入到波形链中；

(3) 如果在沿 $+x$ 方向搜索时遇到断线时，如果当前搜索点为 $(x_1, y_1)$ ，则将搜索点回到 $(x_1, y_0)$ ，在波形中心位置沿着 $+x$ 方向搜索波形有效点，如果找到则重复第(2)步回头沿 $-x$ 方向搜索波形有效片段，这样做的目的是为了能够将遇到断点时越过的波形补上。图2给出了搜索的顺序。

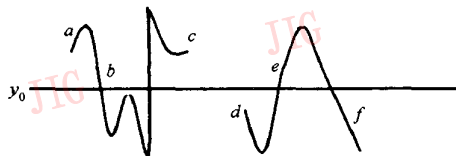


图2 搜索顺序

在图2中，水平线所在的位置为 $y = y_0$ ，搜索时， $a, b, c, d, e$ 这几个点的搜索顺序是 $b \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow e \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f$ ，为了更快地找到下一波形有效点的位置，我们使用趋势预测的方法来估计下一波形有效点的大概位置；

(4)特殊情况处理

如图3所示，波形片段 $bc$ 没有和中心线 $y = y_0$ 相交，这样，波形搜索时，找到 $a$ 点后，便直接找到 $f$ 点，然后回头到 $e$ 点便不再继续向后搜索。

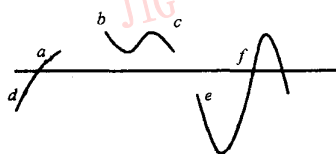


图3 特殊情况

因此，便丢失了 $bc$ 这一段波形。这在波峰段极易

出现。所以,在搜索到中心线附近的波形片段后,进行后续搜索过程。后搜索使用全搜索模式,搜寻可以和断裂端匹配的所有可能的有效片段。我们在文献[4]的基础上给出了简化的三种基本模式:单峰、双峰、骑峰(见图4)。我们对每次搜索结果的中心线去和所有模式做匹配,来寻求最佳的结果。

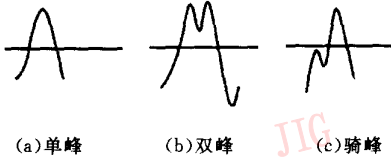


图4 波形模式

### 4 波形拼接

一张地震记录图纸一般不能一次全部扫入计算机中,因此波形的拼接也成为整个处理过程中必不可少的模块。拼接分为以下步骤:①垂直位置匹配;②水平位置匹配。我们使用不同的信息来求得这两个参数。

#### 4.1 垂直匹配位置的求取

在第1节中,我们提取了地震波形中的水平线的中心位置,这些信息提供了搜索图形拼接垂直匹配位置的快速搜索方法。设  $X_i, X_j$  为两幅图纸中的水平线位置,则垂直匹配位置为  $\Delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_j)$ ,将第二幅波形整体移动距离  $\Delta$  即可。

#### 4.2 水平匹配位置的求取

我们在扫描过程中保证相临的图纸存在重叠的部分,这样就可以利用搜索出的时间序列作相关的方法求出水平匹配位置,同时我们利用在图纸中查找出的时标信息来加速并限制匹配位置的范围。算法描述如下:

设  $TimerD$  为同一水平线上相临时标的距离,如图5所示,  $X_1$  是第一幅图中地震波所在水平线上的最后一个时标距离图象右边的距离,  $X_2$  是第二幅图中地震波所在的水平线上的第一个时标距离图象左边的距离,由于这两个时标要么重合,要么相差  $N \times TimerD$  倍,因此,我们做相关时,先以  $TimerD$  为最小单位,以  $X_1 + X_2$  为起始距离移动第二幅图象来做相关,然后再以这个位置为中心做小范围的移动相关,再从中求取最大值,这样就能准确地求出

这两幅图纸的水平匹配位置。

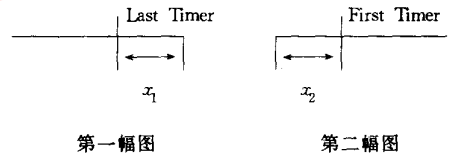
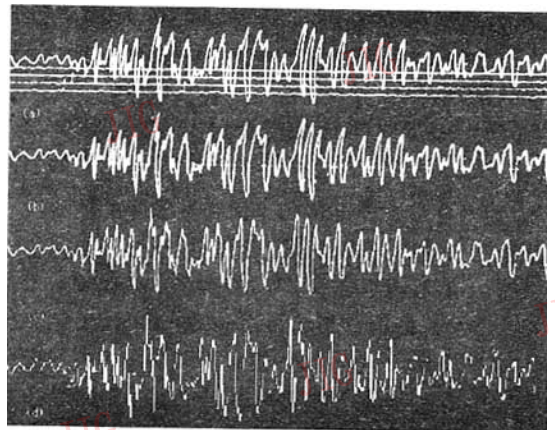


图5 水平匹配

## 5 实验结果和结论

地震波形自动提取系统的水平校正中边缘提取配合 Hough 变换形成了一种稳定性较强的算法,在水平线消除中采用动态阈值和动态中心的方法使算法对各种不同的图纸都有很好的稳定性。图纸中存在的弧形失真也给波形提取带来很大困难,我们利用波形峰值和零点提取波形各个部分的半径参数来进行波形校正,实验证明(见图6)这种方法稳定可靠,同时,波形搜索中的智能规则对波形的完整化有着很重要的作用。



(a) 原图; (b) 消除水平线; (c) 波形矫正图象; (d) 提取后波形

图6

### 参考文献

- 1 Lee J W, In-So Kweon. Extraction of line features in a noisy image. *Parttern Recognition*, 30(10):1651~1660.
- 2 Kiriyati N et al. A probabilistic Hough transform. *Pattern Recognition*, 1991,24(4):303~316.
- 3 Ye Qinzhong. A preprocessing method for Hough transform to detect circles. In: *Proc IEEE Conf Comput Vis Pattern Recognition*, 1986, pp. 651~653.
- 4 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. *地球物理学报*, 1992,35(2).



**匡丕东** 1991年毕业于中国科学技术大学电子工程与信息科学系,现为中国科学技术大学信息处理专业硕士研究生。



**余能海** 1992年毕业于清华大学电子工程系,获工学博士学位,现为中国科学技术大学讲师。主要研究领域为数据库及信息系统集成技术,多媒体技术,图象处理与模式识别。1992年以来,先后主持参加的科研开发项目有7项,其中一项获中国科学院科技进步三等奖。



**刘政凯** 1964年毕业于中国科学技术大学无线电遥控遥测专业,现为中国科学技术大学教授,博士生导师。主要从事遥感图象处理,人工神经网络及模式识别方面的研究。已发表论文60余篇,出版专著6本。

## Study on Auto-Extracting Wave from Seismic Record

Kuang Pidong, Liu Zhengkai and Yu Nenghai

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

**Abstract** In this paper, discussing the method in auto-extracting wave from seismic record, a robust horizontal correcting and a horizontal line deleting algorithms are presented. The authors also produced a variational Hough transform used for wave-correcting, and concluded the wave model for wave extracting. After that, the rules in intellectual wave-searching method are presented.

**Keywords** Seismic wave, Horizontal line deleting, Wave-correcting, Wave-searching