

文章编号: 1006-2475 (2007) 04-0027-04

基于数字图像处理的地震波初至时间检测

牛沛琛, 张建中

(厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

摘要:地震波初至时间的检测是地震信号处理中的一个重要环节。在地震波接收记录上,初至波振幅大于噪声振幅,初至时间位于纯噪声信号与地震有效信号和噪声之叠加信号之间的分界处。根据这些特征,本文把地震信号幅值数据处理成256级灰度图,再把灰度图二值化,然后通过检测二值图像的边缘,获得地震波的初至时刻。对于存在较多的连续异常记录道,或其它强干扰信号的地震波记录,提出了二次或多次用不同阈值对图像进行二值化的检测方法。对实际地震记录的处理表明,本文方法具有较高的精度和效率。

关键词:初至波;自动检测;二值图像;边缘检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

First Arrival Picking Based on Image Processing Methods

NU Pei-chen, ZHANG Jian-zhong

(School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper discusses a new method of first arrival picking. The method is based on image processing methods. It is proposed for the purpose of automatic and accurate picking of large volumes of first arrival picks for refraction static analysis. The first step converts the seismic data into a grey image. The second step converts the grey scale image to a binary image. At last simple secondary pick logic can be employed to calculate a final pick time. In the course of picking, the paper discusses a new method to influence the accuracy of picking first arrival, converts the grey scale image to more than 2 binary images by different threshold value. The experimentation has proven that the new method has great speed and efficiency.

Key words: first arrivals on seismic data; automatic picking; binary image; edge extraction

0 引言

在地震勘探中,地震信号的初至时间常用于获取表层的速度、厚度及进行静校正,而初至时间检测的精度和速度极大地制约着解决这些问题的精度和效率。人们已提出了许多自动检测初至时间的方法,如利用地震记录瞬时特征的能量对比法^[1],基于地震记录整体特征的相关法^[2],利用地震初至波多维信息的神经网络方法^[3]、模式识别方法^[4]、分形方法^[5]等,这些方法有的在信噪比较低时效果不佳,有的方法复杂,效率较低。最近出现了基于梯度算子的图像边缘检测的初至波拾取方法^[6-7],取得了不错的效

果。

初至波具有比噪声振幅更强的特点,位于有效信号和纯环境噪声信号的分界处,类似于图形的边界特征。本文从数字图像处理的角度出发,将原始记录数据转换成二值图,通过检测二值图像素跳变的位置来确定初至波位置。这种方法能够同时考虑所有地震记录道数据的整体特征,不需要对记录数据进行复杂的分析运算,减少了计算量,提高了效率。

1 基本原理

地震激发源信号经过在地下介质传播,再返回到地面被检波器接收,最先到达的有效信号被称为初至

收稿日期: 2007-01-16

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2006J0044);厦门大学985二期信息创新平台项目

作者简介:牛沛琛(1981-),男,内蒙古呼和浩特人,厦门大学信息科学与技术学院硕士研究生,研究方向:信号与信息处理;张建中(1963-),男,教授,博士生导师,研究方向:电磁波和声波数值计算,智能信息处理,统计信号处理,数字成像与图像处理,通信网络信息处理等。

波。在有效信号返回到地面之前,检波器所接收的主要是环境噪声。初至时间检测就是要确定检波器记录上纯噪声信号与地震有效信号和噪声之叠加信号之间的分界时刻。由于有效信号比噪声的能量大,振幅高,在波形图上两者之间形成明显的分界线,而这个边界正是检波器接收初至波的时刻。这样,就可以通过对信号图像的边缘进行检测来达到确定初至波到达时间的目的。

根据地震有效信号比噪声振幅更强的特点,把地震记录数据按振幅大小转化成 256 级的灰度,这样, M 道记录每道 N 个采样点的数据可表示成 $M \times N$ 个单位像素的灰度图。振幅小的信号在灰度图呈现白或灰白像素,而振幅大的信号呈灰黑到黑的像素。为了区分噪声与有效信号在灰度图上的区域,按照一定的灰度控制参数和强度对比参数,把灰度图转化成只有黑白两种像素的二值图。其中,对应较大振幅和强度对比高的表示有效信号灰黑像素在二值化后变成灰度为 0 的黑像素,而对应振幅较小的表示噪声的像素则变成灰度为 255 的白像素。在只有黑白两种像素的二值图上,每列像素中白到黑的跳变可以用一个简单的二进制运算法则来确定。一般情况下,这个跳变代表的就是初至波位置。

2 实现方法步骤

2.1 地震信号预处理

在实际测量中,由于各检波器所处的地理位置和外界环境等因素的不同,所接收到的地震波信号能量一般存在较大差异。为了各道记录振幅之间达到均衡,并使噪声与有效信号之间的振幅变化更清晰,对各道信号进行了归一化处理。单道归一化的公式为:

$$S_1(x, t) = \frac{S(x, t)}{\max_{i=1}^L S(x, i)}$$

其中, $S(x, t)$ 为第 x 道时间为 t 的原振幅数据, L 是该道采样点数, $S_1(x, t)$ 是经过归一化处理后的该道 t 时刻的振幅。

2.2 记录数据的灰度化处理

地震记录是接收信号的振幅数据,需要把各采样点的振幅值按其大小转化成 256 级的图像灰度。地震记录振幅有正有负,为此对地震记录数据取绝对值后进行灰度化处理。灰度处理后, M 道记录每道 N 个采样点的数据就被表示成 $M \times N$ 个像素的 256 级灰度图。

2.3 灰度图的二值化处理

有效信号的振幅普遍比环境噪声的振幅高,灰度图上两者的界线已很清晰。为了快速确定该分界线,我们按照一定的阈值即灰度控制参数和强度对比参数,把灰度图转化为只有黑白两类像素的二值图。

在对灰度图的二值化处理中,突出噪声部分与信号部分的界限是关键,二值化阈值的选取也主要是为了突出初至时刻信号波形与噪声波形的边界。因此,我们选取较低的灰度控制参数以更清晰地显现信号区域,选取适当的强度对比参数来突出噪声和信号的界线。采用小波拟合黑白像素均值曲面函数的自适应阈值算法^[8]实现阈值的自动选取,其中,用二维三次 B 样条尺度函数和小波函数作为该算法中的像素均值拟合函数。从而使运算在尽可能简单的前提下,能更精确地保留信号波形整体形态,这样既保证了检测精度,又提高了计算效率。

2.4 二值图边缘检测

在二值图上,黑白两种像素的跳变非常明显,该处即是初至时刻的大概位置。检测该位置无须使用复杂的边缘检测方法,我们采用简单的扫描 1-0 跳变检测法,按列扫描像素,让计算机自动记录每列第一个 1 跳变到 0 的位置,再把这些图像上位置还原成地震记录的时刻。这样做大大提高了检测效率。

2.5 初至时间的精确化

上面检测的二值图边缘一般只是初至时刻的大概位置,我们通过在位置附近小范围内搜索原始记录的极值位置,进一步确定初至时间的准确值,这样可以精确拾取到初至波的波峰时刻。

2.6 对异常情况的处理

对于一般的地震记录,前述方法可获得较好的结果。但是,当地震记录存在少量分散的坏道、死道等异常道时,这些道的检测结果将会远离正常位置,这时,需要将这些异常极值点检测出来,并利用正常道的初至时间进行插值计算来获得正确的初至时间。

当存在较多的连续异常道时,或有其它强干扰信号存在时,简单的插值运算无法保证多异常道的初至波拾取的准确性。对此,我们采用自适应阈值与人工指定阈值相结合的方法进行处理,提出了初至时间的数字图像二次或多次阈值检测法。即,先采用自适应阈值进行图像二值化,把正常道或信噪比高的道的初至时间检测出来,再人工交互确定二值化的灰度控制参数和强度对比参数两个阈值,把在前一步未能正确得到的那些道的初至时间检测出来,然后用这些正确结果取代前一步那些异常值即可。

3 应用实例

3.1 高信噪比地震记录

图 1是某激发源激发 176个检波器接收的实际记录的波形图(176道),每道采样时长 1600ms,采样率为 2ms。图 2是图 1所示的地震记录数据经过归一化后转成的 256级灰度图,从图中可以明显地看出有效信号波形的整体形态。图 3为采用小波拟合黑白像素均值曲面函数的自适应阈值算法得到的二值图。接下来,对二值图的像素边缘进行检测,再把检测的边缘位置还原到原始记录对应的时刻,然后在该时刻附近的小段时间内,确定初至波极值对应的时间,并把个别异常值用正常值的插值结果取代,获得的初至时刻如图 4所示。需要说明的是,这里我们检测的是初至波的波峰时刻而不是起跳时刻。与图 1对比可知,检测的初至时间精度较高。

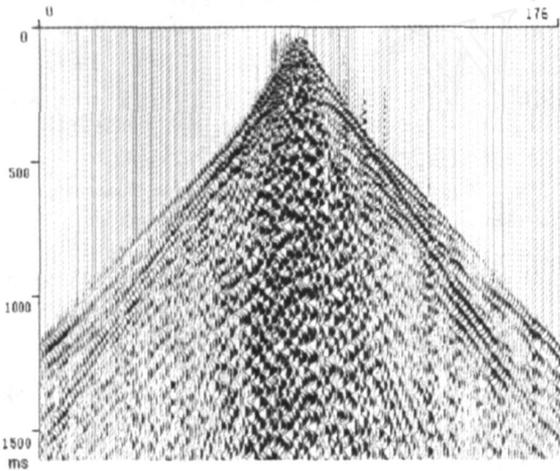


图 1 某激发点的实际记录信号波形图

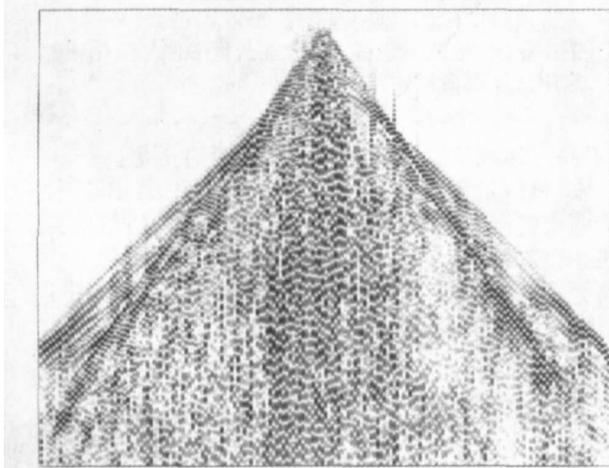


图 2 图 1实际记录的灰度图

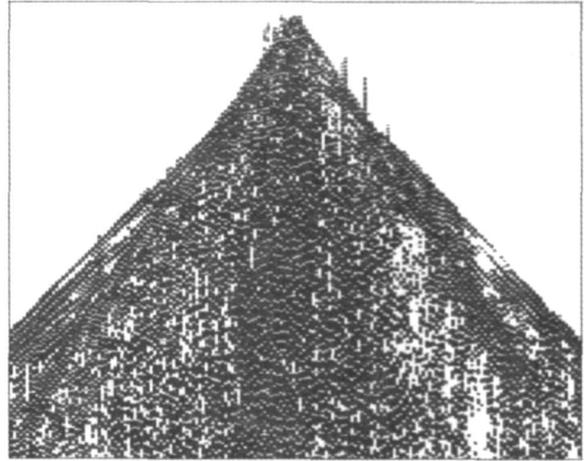


图 3 由图 2灰度图得到的二值图

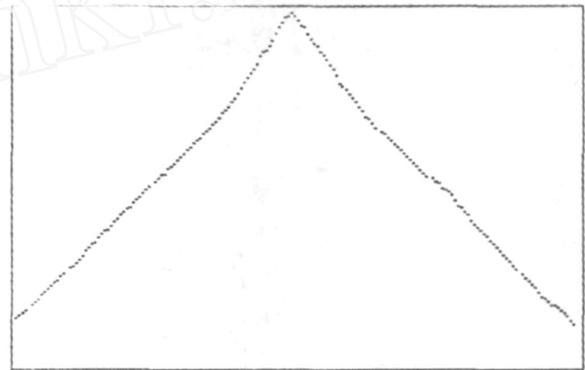


图 4 图 1记录检测结果

3.2 存在严重干扰的地震记录

对图 1所示的原始信号中的相邻 20道记录加入随机噪声,如图 5所示。图 6是用自适应阈值算法得到的二值图,可以看出,利用该二值图是无法正确获得加了较强噪声的 20道对应的初至时间。对这种情况,我们再通过人工交互选取二值化的阈值,得到图

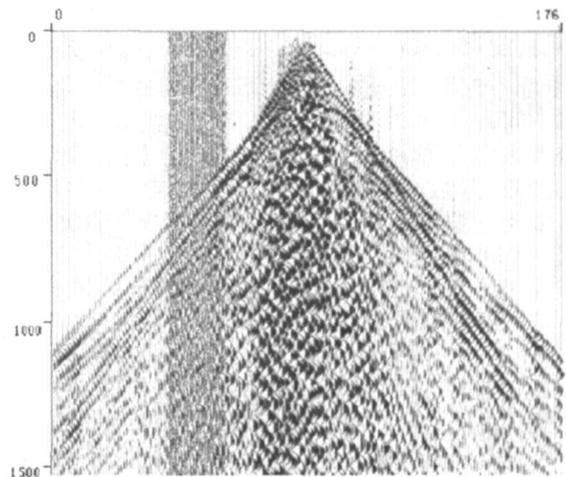


图 5 在图 1记录中加入强干扰后的波形图

7所示的二值图,比较准确地反映出这 20道对应的初至波位置。然后用图 7检测的这 20道的初至时

刻,替换用图6检测的对应道上的初至时间,就较好地得到整个记录数据的初至时间,如图8所示。这就是前述的二次或多次阈值检测法。当然,在噪声很强,信噪比接近或大于1时,噪声与有效区域的界线不再分明,和所有其它自动方法一样,该方法也将失效,只能人工进行处理。

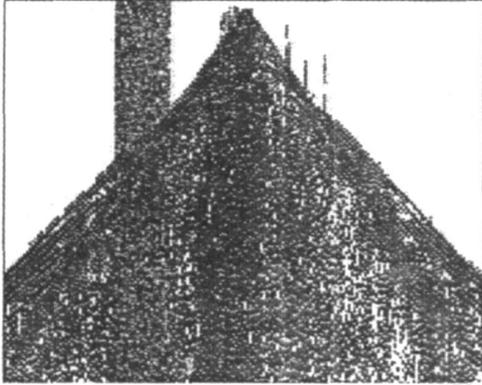


图6 采用自适应阈值算法得到图5的二值图



图7 采用灰度控制参数为147的图6对应的二值图

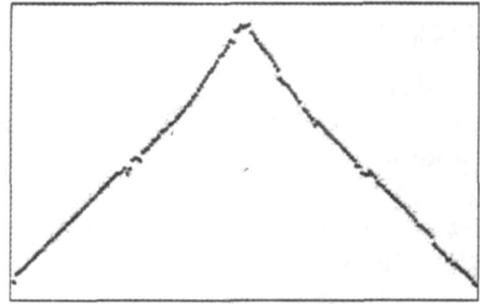


图8 利用二次阈值检测法得到的初至时间

4 结束语

本文提出了基于二值图像边缘检测的地震波初至时间的自动检测方法。与现有方法相比,该方法简单,计算量小,抗噪声能力强,大大提高了检测效率。对于连续的强干扰和坏死的记录道,通过多次阈值的二值图检测,也可获得较好的结果。

参考文献:

- [1] 左国平,王彦春,隋荣亮. 利用能量比法拾取地震初至的一种改进方法[J]. 石油物探, 2004, 43(4).
- [2] S K Yung, Luc T kelle. An example of seismic time picking by third-order bicoherence[J]. Geophysics, 1997, 62(6): 1947-1951.
- [3] 王金峰,罗省闲. BP神经网络的改进及其在初至波拾取中的应用[J]. 物探计算技术, 2002, 28(1).
- [4] 吴雨梅,吴律. 地震特征拾取及其在解释应用中的新进展[J]. 地球物理学进展, 1996, 11(2).
- [5] 曾富英,李敏锋,申维. 地震波初至拾取的分形研究[J]. 现代地质, 2005, 16(2).
- [6] 潘树林,高磊. 一种实现初至波自动拾取的方法[J]. 石油物探, 2005, 44(2).
- [7] 李辉峰,邹强,金文昱. 基于边缘检测的初至波自动拾取方法[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(2).
- [8] 彭进业,张光玉,寇夏莲. 小波在灰度图像二值化中的应用[J]. 西北大学学报, 1998, 28(3).

(上接第26页)防止地址对DSP访问时的干扰,在DSP访问时,2片74LS593在单片机的控制下其输出各位置为全1,单片机的P12~P16是用于控制计数器的计数、置数、清零等作用,P35控制SAA7111的FEI,采集一帧数据后令FEI为高,使VPO输出变为高阻,使DSP能够正确读取SRAM中的数据。

关于系统的软件部分设计,因篇幅有限,另文介绍。

该视频远程传输系统与接收端计算机的连接有两种方式,通过串行口直接连接或者通过公共电话交换网远程连接,适用于不同的应用场合。

系统的图像分辨率一般为352×288,最低为176×144,显示比较清晰,图像显示比较流畅。通过公共电话交换网远程连接时,图像传输率一般为每秒10帧左右,最高可达到每秒15帧,图像显示的实时性较好,时间延迟为2~5秒。若系统通过串行口直接与计算机连接,其传输速度更快,一般为每秒15帧左

右,最高可达到每秒20帧,图像显示延时更短。

该“视频远程传输系统”,因具有体积小、不需要外接调制解调器、不需要架设远距离线路、通信线路可靠、安装方便,以及图像传输实时性较好、图像质量较高等特点,可以广泛应用于远程监视,特别适用于临时性的短期远程监视等。

参考文献:

- [1] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [2] 汤家骏,等. 用TMS320C6201实现H.263编解码器[J]. 电子技术, 2000(6): 14~17.
- [3] Texas Instruments. Digital Signal Processor TMS320VC33[Z]. Texas Instruments, 1999.
- [4] Philips. Enhanced Video Input Processor SAA7111A[Z]. Philips, 1998.