

· 经验交流 ·

利用 SVD 分解法对任意道距道内插

陆文凯* 李衍达

(清华大学自动化系)

摘 要

陆文凯,李衍达. 利用 SVD 分解法对任意道距道内插. 石油地球物理勘探, 1997, 32(4): 582~588

传统的道内插技术是采用扫描同相轴的倾角,再沿着若干倾角方向加权求和来实现的。本文提出一种新方法——SVD 分解法插值,即先利用图象处理技术检测地震图象上的同相轴的走向,然后沿该方向进行 SVD 分解,再对分解后的特征向量矩阵按要求进行插值重建,从而得到内插结果的地震剖面。从理论记录 and 实际资料的处理结果来看,本方法具有速度快、精度高、内插效果好等特点,且可对任意道距剖面进行内插。

主题词 SVD 分解 特征向量 矩阵 道内插 重建 地震数据 处理

ABSTRACT

Lu Wenkai and Li Yanda. Any-interval trace interpolation using SVD method. *OGP*, 1997, 32(4): 582~588

Usual trace interpolation is achieved by using the dip angles of scanned reflection legs and making weighted summation along some dip angle directions. Any-interval trace interpolation using SVD method, a new technique, is put forward, which includes the following steps:

- Detect the main trend of reflection legs in seismic image by using image processing technique.
- Make SVD analysis along this direction.
- Finish the interpolation and reconstruction of the post-SVD characteristic vector matrix according to the requirements to produce a final interpolation section.

Viewed from the theoretical and real results, the method has some advantages: fast computation, high accuracy, good interpolation effect and the desirable interpolation for sections of any group intervals.

Subject heading: singular value decomposition, characteristic vector, matrix, trace interpolation, reconstruction, seismic data, processing

引 言

在地震勘探过程中,尤其是在三维地震勘探中,由于野外施工条件的影响和工作量的限

* Lu Wenkai, Automation Department, Tsinghua University, Beijing City, 100084
本文于 1996 年 11 月 11 日收到。

制,常常在某一测线方向上出现地震记录道间距离较大的情况。为了提高勘探精度,通常需要进行道内插。对于二维资料,当道距大,倾角相对也较大时,为防止空间假频通常在偏移之前进行内插。人们已开发了多种道内插技术,SGI 公司的人工智能道内插技术采用的是波形特征分析法,即通过振幅、视周期、自相关等 7 个特征参数进行道间波形对比,找出同相轴的方向,然后顺着这个方向用这些参数恢复任意道内插的波形;俞寿朋先生的多项式拟合道内插技术^[1]是由一点周围的已知道数据拟合出该点的数据来;文献 2、3、4、5 给出了在 $F-X$ 和 $F-K$ 域实现等道距内插技术及其改进方法。

在地震资料处理中,SVD 分解利用地震资料道与道之间存在较大的相关性这一特点,按能量分布关系对地震资料进行分解。SVD 分解已被用来提高地震资料的信噪比^{[6]、[7]},作者在文献 7 中利用量化后的地震图象的二级灰度统计特征^[8]由共生矩阵所得的能量、差异值与一致性特征来获取待处理区域中同相轴的主要走向,据此,对 SVD 滤波器的输入矩阵进行调整,以达到更好的能量分离效果。本文提出的道内插新方法是以前文 7 介绍的同相轴走向检测为基础,先利用图象处理技术检测地震图象上的同相轴的主要走向,然后沿该方向进行 SVD 分解,再对分解后的特征向量矩阵按要求进行插值、重建,从而得到内插结果剖面。从理论记录 and 实际资料处理结果来看,本方法具有速度快、精度高、内插效果好等特点,且可对任意道距剖面进行内插。

内插理论与实现

SVD 分解道内插

设定地震记录有 N 道,每道有 M 个采样点,于是可用矩阵 X 表示,其元素为 x_{ij} (i 为道号, j 为时间样点号)。根据 SVD 理论, X 可写成

$$X = UEV^T = \sum_{i=1}^r \sigma_i u_i v_i$$

式中: U 、 V 是 XX^T 的特征向量 u_i 、 v_i 组成的矩阵; E 是 XX^T 的特征值按递减顺序组成的对角矩阵。故 U 、 V 、 E 分别表示为

$$\begin{aligned} U &= [u_1, u_2, \dots, u_N]^T \\ V &= [v_1, v_2, \dots, v_M]^T \\ E &= \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r) \end{aligned}$$

按照实际的插值要求,如果 N 道之间插入 M 道,我们首先对特征向量矩阵 U 进行相应的插值,得到一个新的特征向量矩阵 U' ,即

$$U' = [u'_1, u'_2, \dots, u'_{N+M}]^T$$

其中, u'_i 为 $i=1, \dots, N+M$ 对应插值后的相应道,是按照位置分布情况由 u_j 在 $j=1, \dots, N$ 插值后得到的。

利用 U' 进行图象重建,即可得到插值结果剖面

$$X_{rb} = U'EV^T$$

式中 r 为 X 的秩。为了使插值效果达到最佳,需在对地震图象进行 SVD 分解之前,利用其代数特征检测图象上的同相轴的主要走向,然后调整 SVD 的输入矩阵。

同相轴走向检测

为了检测地震图象上同相轴的主要走向,先对地震图象进行量化,然后提取以下特征。

地震剖面量化为 $1 \sim N$ 后,按下述方式确定一个共生矩阵,矩阵中每一个元素 $R(i, j, D, A)$ 是两个象素(就是图象矩阵中具有灰度值为 i, j 的一对象素),在角度为 A 的方向上相隔的距离为 D 这一事件发生的次数。位移和方向的任一特定组合产生一个唯一的共生矩阵。共生矩阵规一化后得到每个事件发生的概率为

$$P_{ij} = \frac{R(i, j, D, A)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R(i, j, D, A)}$$

共生矩阵的能量定义为

$$\text{Energy} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_{ij}^2$$

共生矩阵的能量一致性定义为

$$\text{Homogeneity} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{p_{ij}}{1 + (i - j)^2}$$

共生矩阵的差异值定义为

$$\text{Inertia} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - j)^2 p_{ij}$$

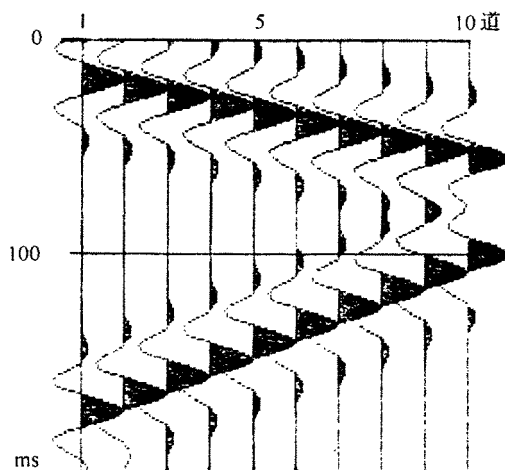


图1 模型1的合成记录

1是一个有两条倾斜同相轴的合成记录,一条倾角为 -4 ,另一条倾角为 $+2$,量化为灰度值为 $1 \sim 9$ 的 10×100 的图象阵列,距离固定为1,角度范围为 $-5 \sim +4$ (用样点数定义),得到的特征如表1所示。显然,这些特征能很好地指示出剖面上同相轴的主要走向。

表1 特征值分布

角 度	能 量	一致性	差异性	角 度	能 量	一致性	差异性
-5	0.660	0.155	4.143	0	0.629	0.144	2.998
* -4	0.749	0.185	3.625	+1	0.659	0.143	3.279
-3	0.668	0.144	3.288	* +2	0.732	0.176	3.642
-2	0.630	0.142	3.028	+3	0.645	0.151	4.152
-1	0.596	0.147	2.910	+4	0.580	0.133	4.684

注:表中*表示能量最大,即同相轴的方向。

合成资料与实际资料的处理

为了检查本算法的有效性,我们对合成资料 and 实际资料进行了处理。

图 2a 是一个尖灭的合成记录,共 10 道,每道 120 个采样点,采样率为 4ms,其中倾斜同相轴的倾斜角度为 20ms;图 2b 为插值加密一倍的剖面。图 3 是一段实际地震剖面,该剖面显示的构造复杂,分辨率与连续性均相对较差。图 4 为用本文方法插值加密一倍的处理结果,可以看出插值结果在断点等复杂变化的部位表现得比较自然合理,分辨率与连续性也有改善。

图 5 是另一段实际地震剖面,图 6 是抽掉若干道后的剖面,抽掉的道都被充零。从图上可

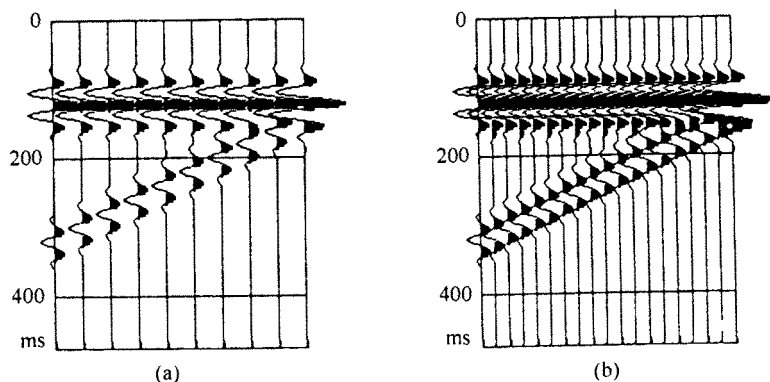


图 2 模型合成记录处理

(a)尖灭模型合成记录;(b)道加密一倍的记录



图 3 实际地震剖面

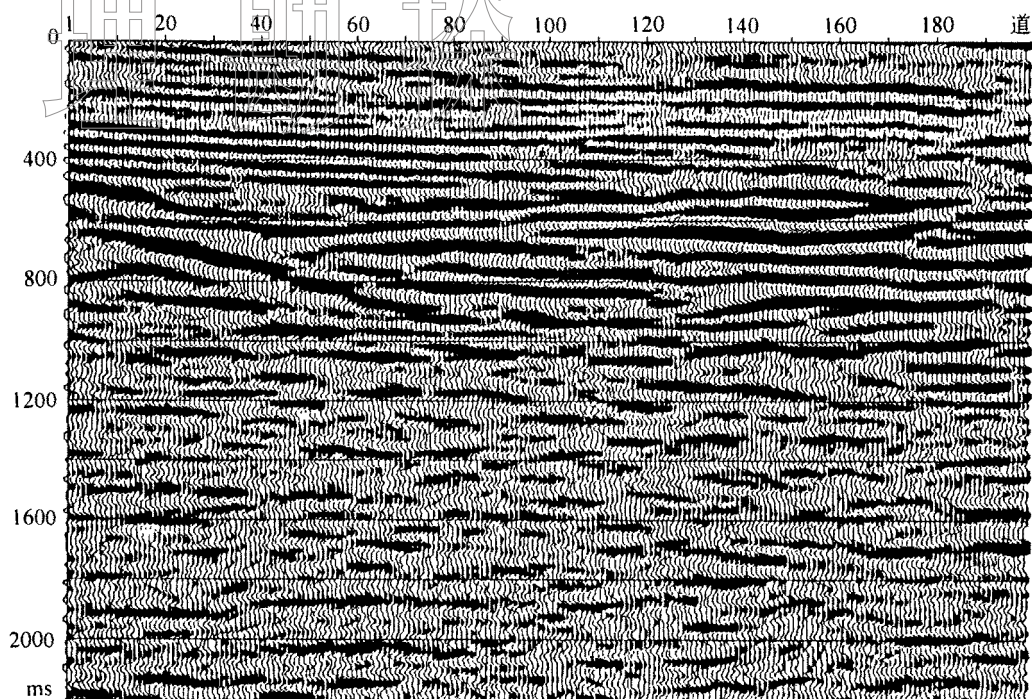


图 4 图 3 加密一倍剖面

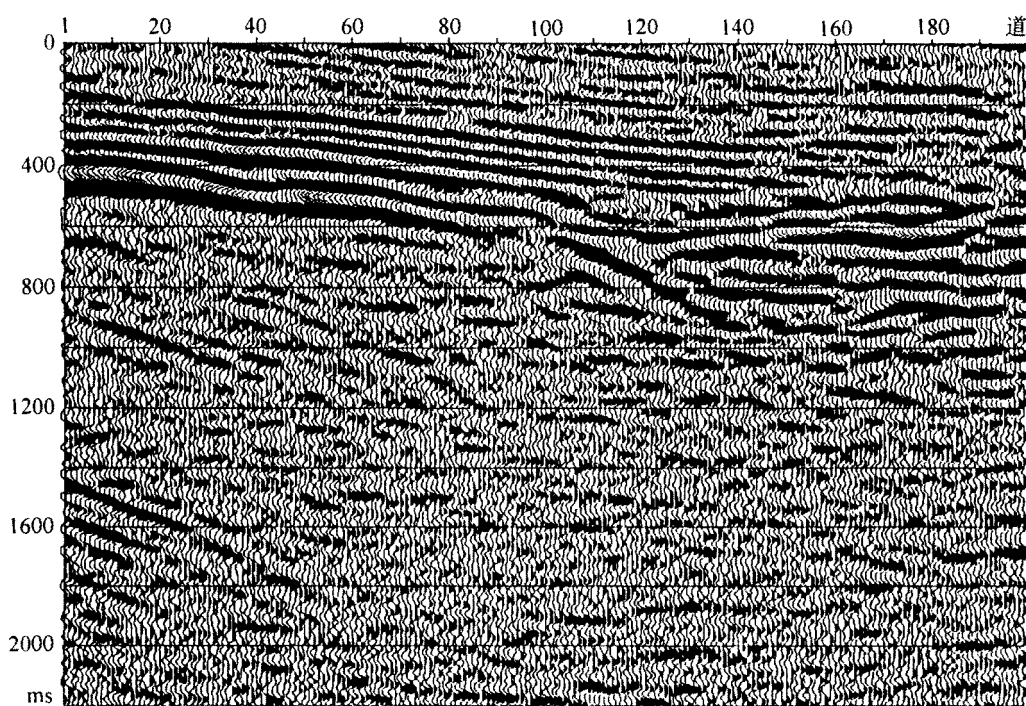


图 5 实际地震剖面

以看出,抽掉的道的位置是不规则的,有抽掉一道的、两道的、三道的。我们利用图 6 进行插值以恢复原剖面,图 7 是插值后的结果剖面,图 8 是用图 7 减去图 5 后得到的误差剖面。从插值

结果可以看出,在两道间插值出一道波形时,失真小;而在两道间插值出两道和三道波形时,与原始剖面相比失真大,这是由于信息量少引起的。

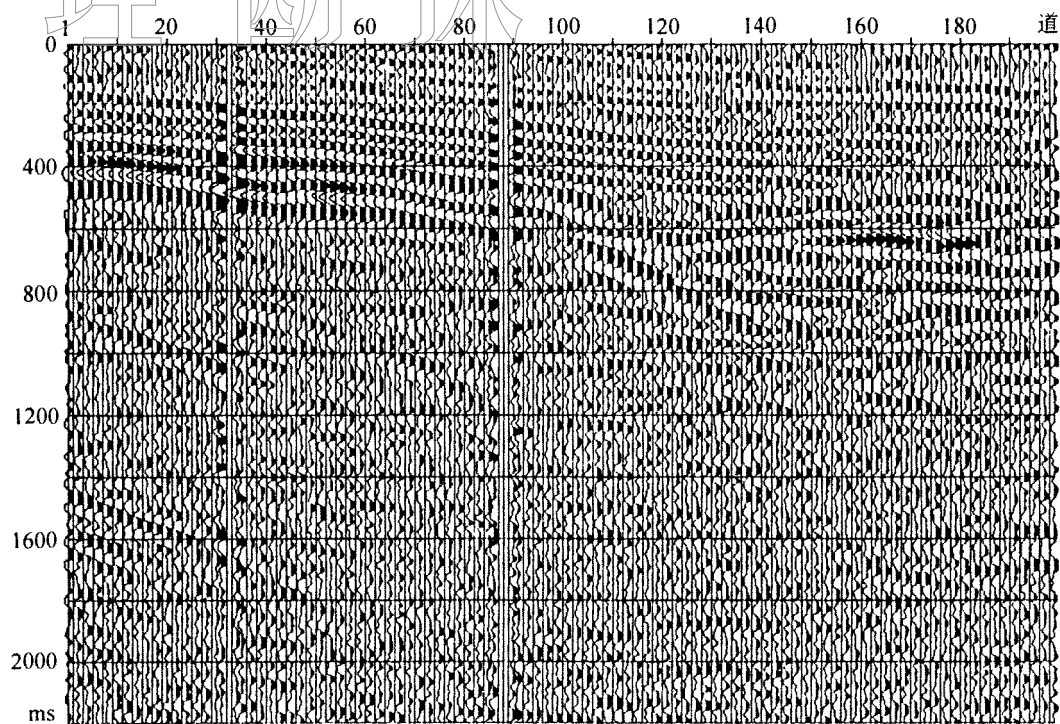


图 6 抽掉的道充零剖面(用作插值剖面)

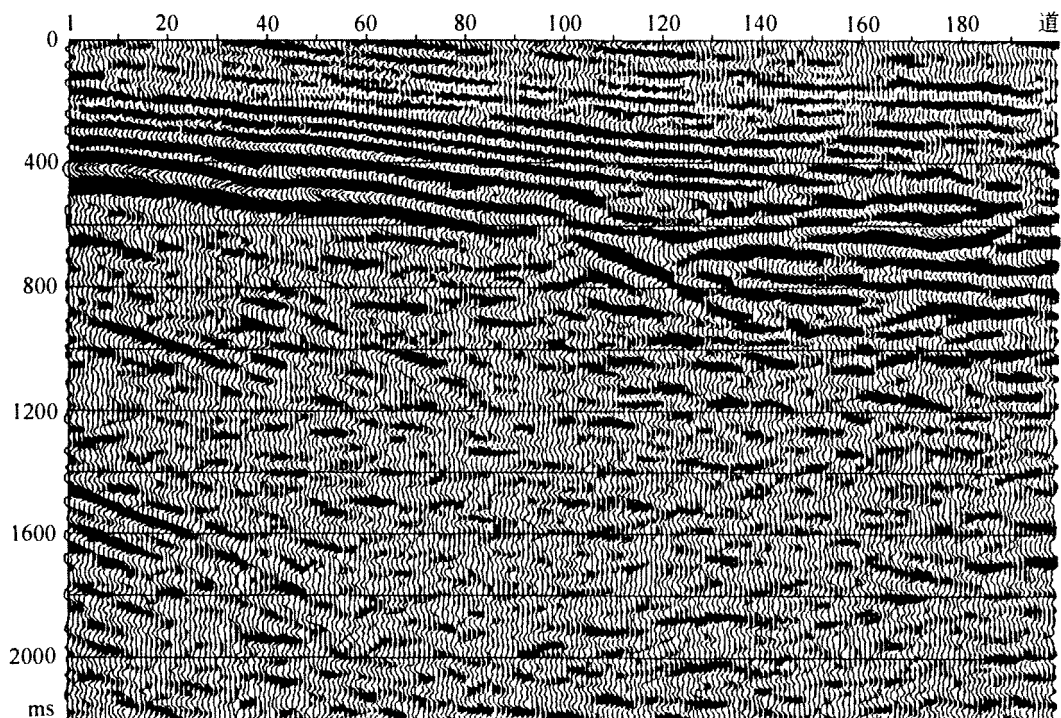


图 7 图 6 充零道插值后的结果

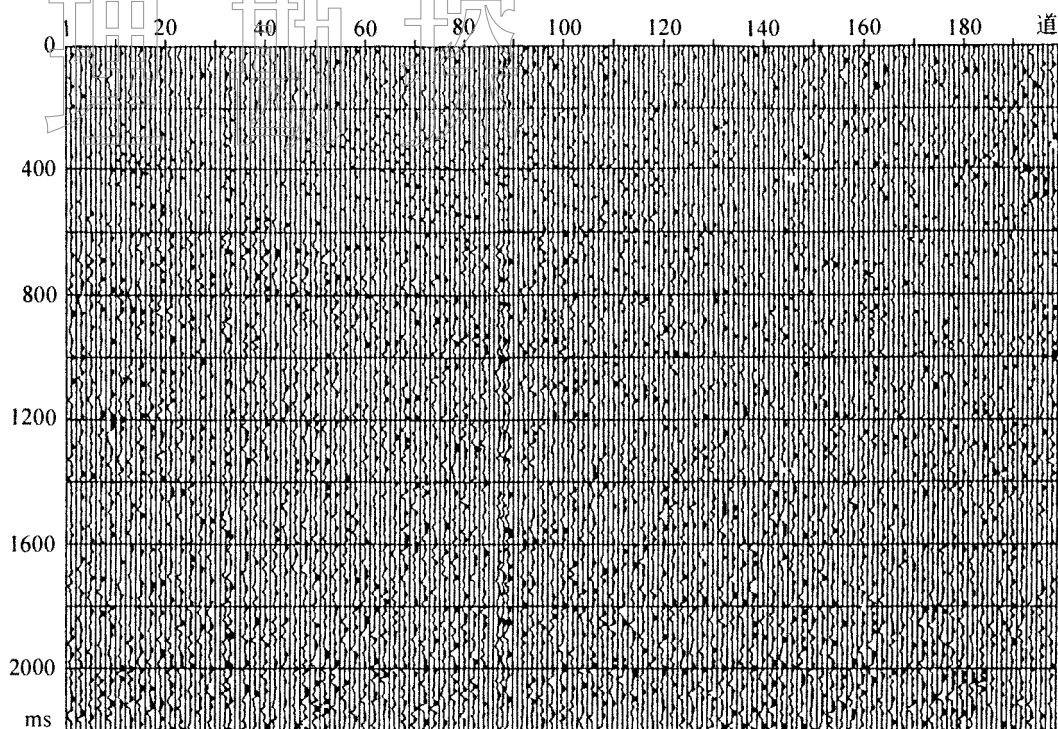


图 8 图 7 减去图 5 的误差剖面

结 论

SVD 分解是一种二维数字处理方法,本文提出的道间插值方法利用了图象处理技术,自动确定待处理区域内同相轴的主要方向,然后沿该方向进行 SVD 分解,对分解后相应的特征向量矩阵进行插值、重建,从而可得到插值剖面。本方法利用 SVD 分解算法按地震图象的相关程度将地震图象分为若干本征图后进行插值,同相轴的主要方向的检测避开了传统的时域插值中反射倾角扫描的困难。本方法将地震图象道间插值的问题转化成地震图象 SVD 分解后的特征向量矩阵插值,这种插值也是在时域内进行的,故可以进行任意道距的插值。实际资料的处理结果说明本方法有着较好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 俞寿朋. 用内插法加密地震测网. 物探科技通报, 1986, 4(2): 1~6
- 2 Spitz S. Trace interpolation beyond aliasing and without picking. Presented at the 59th SEG Annual Meeting, 1986
- 3 李国发. $f-k$ 域与 $f-x$ 域联合实现道内插. 石油地球物理勘探, 1995, 30(5): 693~701
- 4 国九英等. $F-X$ 域等道距道内插. 石油地球物理勘探, 1996, 31(1): 28~34
- 5 国九英等. $F-K$ 域等道距道内插. 石油地球物理勘探, 1996, 31(2): 211~218
- 6 陈遵德等. SVD 滤波方法的改进及应用. 石油地球物理勘探, 1994, 29(6): 783~792
- 7 陆文凯. 人工智能在石油和天然气勘探中的应用. 石油大学博士论文, 1996
- 8 Haralick R M, Shanmugam K and Dinstein I. Textural features for image classification. *IEEE Trans, Syst, Man, Cybern*, 1973, SMC-3: 610~621