

一种基于加速聚类法的时域速度计算方法*

Peng Zhang

Wenkai Lu

*翻译自 (Zhang, Lu 2016) 一文.

摘要

时域速度和动校正参数 (moveout parameters) 可以直接从同相轴局部斜率 (local event slopes) 中获得, 而同相轴局部斜率是基于叠前地震道集估计出来的. 在实际应用中, 估计出的局部斜率总是有一定的误差, 特别是在信噪比较低的情况下. 因此, 地下速度信息可能隐藏在速度和其他动校正参数所决定的图像中. 我们开发了一种加速聚类算法, 可以在事先不知道聚类中心数量的情况下寻找聚类中心. 首先, 实施平面波解构 (plane-wave destruction) 来估计同相轴局部斜率. 对于地震道集中的每一个样本, 我们根据同相轴局部斜率获得速度的估计和它在图像域中的位置. 这些被映射到新的空间中的点展现出了不同类的结构. 我们用混合分布模型来对这些点进行建模. 然后, 对混合模型的聚类中心进行确定, 这些聚类中心就对应着主要地下构造的极大似然速度. 利用估算的速度的不确定约束来选择对应的反射中心. 最后, 对聚类后的采样不均匀的结速度进行插值, 在规则格网上建立高效的速度模型. 在人工合成数据和实际数据上实施该算法, 我们确定了所提出它可以给出精度相对较高的叠加速度模型和时偏移速度模型.

1 简介

速度估计是地震反问题中的一项重要任务. 宏模型的建立通常是从用不同的动校正速度对 CMP 道集进行扫描开始的. 手动选取速度谱上的能量峰值点是一个十分费力的过程, 需要有经验的专业的数据处理员才能完成这个任务. 在过去的几十年里, 人们采取了各种方法来自动的速度分析. (Toldi 1989) 描述了一种最早的自动速度分析算法, 其中速度模型是由可能的区间速度表示的. 沿着动校正曲线将堆积功率 (stack-

ing power) 最大化, 从而获得最佳的速度模型. 相似谱 (semblance spectra) 上的自动速度选取问题也可以看作是一个射线跟踪问题. 将相似谱上的能量 (Fomel 2009) 作为慢度, 则相似谱顶部到底部具有最小移动时间的射线路径就对应一个最佳的选取速度. 为了克服在 CMP 道集上的速度分析中的反射点分散问题, 可以通过包括各向异性在内的速度延续来建立时偏移速度模型 (Adler 2002; Fomel 2003; Alkhalifah, Fomel 2011; Burnett, Fomel 2011). 还有一种叫作图像波传播 (image wave propagation) 的类似的方法 (Schleicher, Costa, Novais 2008). 不同速度的重复时偏移 (Yilmaz, Tanir, Gregory 2001) 也是一种替代方法.

另一种方法是使用同相轴局部斜率. 在地震道集上接收到的同相轴局部斜率包含了珍贵的地下信息. 动校正速度 (NMO) 和时偏移速度可以直接从同相轴局部斜率中得出. (Ottolini 1983) 提出了与速度无关的同相轴局部斜率成像. (Fomel 2007) 和 (Cooke, Bóna, Hansen 2009) 表明, 利用叠前反射数据估计的同相轴局部斜率可以完成几乎所有常见的时域成像任务和速度估计. 地震数据或地震图像中包含的同相轴局部斜率和其他局部时差属性也可用于深度域上的速度模型反演, 如立体成像 (Billette, Lambaré 1998; Lambaré 2008) 等.

同相轴局部斜率估计的好坏决定了基于同相轴局部斜率的成像和反演结果. 局部倾斜叠加 (Ottolini 1983) 是提取同相轴局部斜率的标准工具之一. 希尔伯特变换 (Barnes 1996; Cooke, Bóna, Hansen 2009; Zhang, Lu, Li 2013; Wang, Lu, Zhang 2015) 也可以用来得到等于同相轴局部斜率的相位移. 另一种具有鲁棒性的斜率估计算法是平面波解构 (plane-wave destruction) (PWD) (Fomel 2002; Schleicher, Costa, San-

tos, et al. 2009). PWD 通过平面波来逼近局部波场. 通过最大限度上扁平化分数延迟滤波器, Chen 等人 (Chen, Fomel, Lu 2013a; Chen, Fomel, Lu 2013b) 进一步加速了 PWD 方法, 并使其适用于陡峭层. 由于估计的**同相轴局部斜率**总是受到噪声和干扰事件的影响而退化, 所以直接映射算子可能会导致成像部分受到高频振荡的污染, 从**同相轴局部斜率**得到的速度对噪声很敏感. 虽然图像扭曲的速度图可以得到与**同相轴局部斜率**相关的时域速度, (Fomel 2007) 但当地震道集中包含多个散射或多路径事件时, 速度图就会变得相当复杂. 速度图上的能量可以作为慢度, 从而通过求解初至射线追踪问题来进行自动速度选取. (Cooke, Bóna, Hansen 2009) 在速度图上使用静音和平均滤波器来抑制多路径事件.

本文提出了一种基于从**同相轴局部斜率**映射来的局部属性聚类的时域速度自动估计方法. 局部属性由一个混合分布模型来表示. 混合分布模型的聚类中心对应于主要地下构造的极大似然速度. 这些聚类中心对由噪声、干扰事件和多路径事件引起的**同相轴局部斜率**退化具有鲁棒性. 我们开发了一种加速聚类算法, 从而高效率地找到聚类中心. 在聚类后的不均匀采样中心上进行最小二乘插值, 建立规则格网上的高效速度模型. 通过在人工合成和实际数据上实施, 我们评估了所提出的算法的性能, 并证实了它符合我们理论上的预期.

参考文献

- [1] ZHANG P, LU W. Automatic time-domain velocity estimation based on an accelerated clustering method[J]. Geophysics, 2016, 81(4): U13-U23.
- [2] TOLDI J L. Velocity analysis without picking[J]. Geophysics, 1989, 54(2): 191-199.
- [3] FOMEL S. Velocity analysis using AB semblance[J]. Geophysical Prospecting, 2009, 57(3): 311-321.
- [4] ADLER F. Kirchhoff image propagation[J]. Geophysics, 2002, 67(1): 126-134.
- [5] FOMEL S. Time-migration velocity analysis by velocity continuation[J]. Geophysics, 2003, 68(5): 1662-1672.
- [6] ALKHALIFAH T, FOMEL S. The basic components of residual migration in VTI media using anisotropy continuation[J]. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2011, 1(1): 17-22.
- [7] BURNETT W, FOMEL S. Diffraction Imaging Using 3D Azimuthally-anisotropic Velocity Continuation[C]//73rd EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2011. [S.l. : s.n.], 2011: cp-238.
- [8] SCHLEICHER J, COSTA J, NOVAIS A. Time-migration velocity analysis by image-wave propagation of common-image gathers[J]. Geophysics, 2008, 73(5): VE161-VE171.
- [9] YILMAZ Ö, TANIR I, GREGORY C. A unified 3-D seismic workflow[J]. Geophysics, 2001, 66(6): 1699-1713.
- [10] OTTOLINI R. Velocity independent seismic imaging[J]. Stanford Exploration Project, 1983, 37: 59-68.

- [11] FOMEL S. Velocity-independent time-domain seismic imaging using local event slopes[J]. *Geophysics*, 2007, 72(3):S139-S147.
- [12] COOKE D, BÓNA A, HANSEN B. Simultaneous time imaging, velocity estimation, and multiple suppression using local event slopes[J]. *Geophysics*, 2009, 74(6):WCA65-WCA73.
- [13] BILLETTE F, LAMBARÉ G. Velocity macro-model estimation from seismic reflection data by stereotomography[J]. *Geophysical Journal International*, 1998, 135(2): 671-690.
- [14] LAMBARÉ G. Stereotomography[J]. *Geophysics*, 2008, 73(5): VE25-VE34.
- [15] BARNES A E. Theory of 2-D complex seismic trace analysis[J]. *Geophysics*, 1996, 61(1): 264-272.
- [16] ZHANG P, LU W, LI F. Supertrace-based coherence algorithm with robust slope estimation[C]//75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013. [S.l. : s.n.], 2013: cp-348.
- [17] WANG Y, LU W, ZHANG P. An improved coherence algorithm with robust local slope estimation[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2015, 114: 146-157.
- [18] FOMEL S. Applications of plane-wave destruction filters[J]. *Geophysics*, 2002, 67(6): 1946-1960.
- [19] SCHLEICHER J, COSTA J, SANTOS L, et al. On the estimation of local slopes[J]. *Geophysics*, 2009, 74(4): P25-P33.
- [20] CHEN Z, FOMEL S, LU W. Accelerated plane-wave destruction[J]. *Geophysics*, 2013, 78(1): V1-V9.
- [21] CHEN Z, FOMEL S, LU W. Omnidirectional plane-wave destruction[J]. *Geophysics*, 2013, 78(5): V171-V179.