بازسازی داده های لرزه ای با نمونه برداری مکانی غیر یکنواخت

مژگان کشکولی[۱] و حمیدرضا سیاهکوهی[۲]

[۱] کارشناس ارشد ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[۲] استادیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

بیشتر اوقات داده‌های لرزه‌ای بطور غیر یکنواخت در مکان نمونه برداری می شوند، یعنی داده ها روی یک شبکه با فاصله یکسان برداشت نمی‌شوند. این مسأله ممکن است منجر به ایجاد جاماندها در مقاطع لرزه ای شود که تفسیر را دچار مشکل می کند. در این مقاله برای بازسازی ردلرزه‌های مفقوده از داده های لرزه ای که با نمونه برداری غیر یکنواخت برداشت شده اند از روش معکوس در حوزه فوریه با استفاده از کمترین مربعات استفاده شده است. اساس روابط ریاضی این روش تخمین ضرایب فوریه ای است که توصیف کننده داده‌های لرزه‌ای با نمونه برداری غیر یکنواخت هستند. پس از تخمین ضرایب می توان سیگنال را روی هر شبکه مناسب توسط یک تبدیل فوریه معکوس بازسازی کرد.

Abstract

More often than not the seismic data is non-uniformly sampled, i.e. the data is not acquired on an equidistantly spaced grid. This may result in artifacts during data processing that complicate interpretation. The method used in this paper is called reconstruction of non-uniformly sampled data with least squares Fourier transform. It is based on estimating the Fourier coefficients that describe the non-uniformly sampled data, and once these coefficients have been found the signal can be reconstructed on any suitable grid via an inverse Fourier transformation.

الگوریتم بازسازی فوریه

اکثر الگوریتم های پردازش داده های چند کاناله نمی توانند بطور مناسب با نمونه برداری نامنظم کار کنند. در اینجا روشی پیشنهاد می شود که به هیچ یک از فرضیات ژئوفیزیکی و زمین شناختی نیاز ندارد جز اینکه داده ها باید از نظر مکانی دارای باند محدود باشند. این روش فقط بر مبنای تئوری فوریه و برگردان پارامتری بوده و قادر است از عهده انواع نمونه برداری نامنظم اختیاری برآید. ایده اصلی این روش تخمین طیف فوریه از نمونه های نامنظم است [۳].

در این روش می توان تبدیل معکوس دقیقی از حوزه تبدیل با نمونه برداری منظم را به حوزه مکان (برای هر موقعیت دلخواه) انجام داد. برای مثال، این روش برای تبدیل هذلولی و تبدیل رادون خطی [۶] و برای تبدیل رادون سهموی [۴] اجرا شده است.

بازسازی یک بعدی با استفاده از تبدیل فوریه

برای داده های لرزه ای که در حوزه فرکانس ـ مکان $P(x,\omega)$ هستند، تبدیل فوریه مکانی پیوسته و مستقیم بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\widetilde{P}(k_x,\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}P(x,\omega)e^{jk_x x}dx \qquad (۱)$$

برای داده ها با نمونه برداری مکانی نامنظم، روش بدست آوردن تبدیل فوریه داده ها استفاده از جمع ریمان است، که در آن انتگرال رابطه (۱) با جمع روی مکان های نمونه واقعی ($x_0,...,x_{N-1}$) جایگزین می شود:

$$\widetilde{P}(k_x,\omega)=\sum_{n=0}^{N-1}P(x_n,\omega)e^{jk_x x_n}\Delta x \qquad (۲)$$

$$\Delta x_n=\ell_{n+1}-\ell_n=\frac{x_{n+1}-x_{n-1}}{2} \qquad (۳)$$

که در آن $\ell_n = (x_n + x_{n-1})/2$ نقطه میانی بین دو نمونه است. رابطه (۲) به عنوان تبدیل فوریه گسسته غیر یکنواخت (NDFT) معرفی شده است.

با استفاده از نمونه برداری یکنواخت در حوزه فوریه با فاصله Δk_x و باند محدود $[-M\Delta k_x, M\Delta k_x]$، عکس تبدیل فوریه گسسته برای هر مکان x توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$P(x,\omega) = \frac{\Delta k_x}{2\pi} \sum_{m=-M}^{M} \widetilde{P}(m\Delta k_x, \omega) e^{-jm\Delta k_x x} \quad (۴)$$

ترکیب N رابطه (۴) برای مکان هایی که در عمل نمونه برداری غیر یکنواخت در آنها صورت گرفته ($x_0,...,x_{N-1}$) را می توان بصورت برداری نوشت:

$$\vec{y} = A\vec{\widetilde{p}} \quad (۵)$$

که در آن $y_n = P(x_n, \omega)$ ، $\widetilde{p}_m = \widetilde{P}(m\Delta k_x, \omega)$ و $A_{nm} = \frac{\Delta k_x}{2\pi} e^{-jm\Delta k_x x_n}$ می باشد.

در عمل داده ها به باند مورد نظر (یعنی $[-M\Delta k_x, M\Delta k_x]$) محدود نمی شوند و تعدادی مؤلفه های فرکانس مکانی فراتر از پهنای باندی که ما برای داده مشخص می کنیم وجود دارد. این مؤلفه ها در مدل مستقیم، خطاها یا نوفه را تشکیل می‌دهند و باید بصورت عبارت نوفه $\vec{n}$ منظور شوند:

$$\vec{y} = A\vec{\widetilde{p}} + \vec{n} \quad (۶)$$

در رابطه بالا که یک مسأله معکوس خطی استاندارد است، بردار مجهول $\vec{\widetilde{p}}$، شامل داده ها در حوزه فوریه با فاصله منظم است که باید از بردار $\vec{y}$ (شامل داده هایی که بطور نامنظم در حوزه مکان نمونه برداری شده اند) تخمین زده شود. از هر تکنیک تخمین پارامتر مطلوبی می توان استفاده کرد. در روش بیزین [۱،۲،۵] رابطه تخمین زننده ضرایب فوریه بصورت زیر بدست خواهد آمد :

$$\hat{\vec{p}} = (\vec{A}^H \vec{W} \vec{A} + k^2 \vec{I})^{-1} \vec{A}^H \vec{W} \vec{y} \quad (۷)$$

که در آن عناصر قطر $\vec{W}$ متناظر با فواصل بین نمونه ها هستند،

$$W_{nn} = \Delta x_n \quad (۸)$$

و k^2 ثابت پایدارسازی نام دارد.

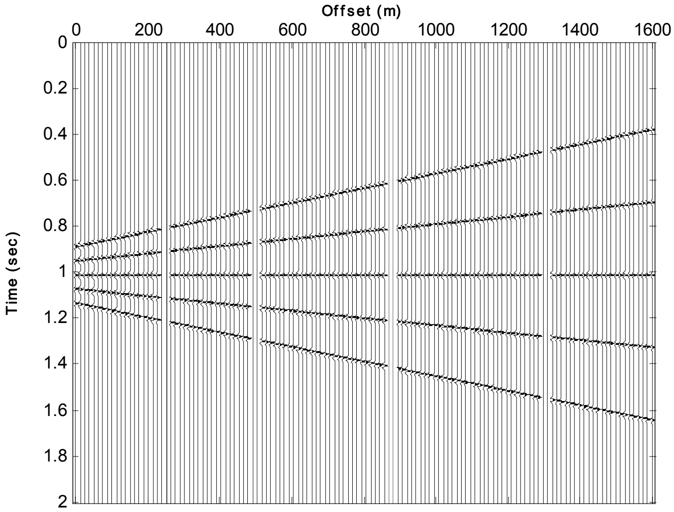
اگر بتوان نسبت F بین انرژی های پیش بینی شده نوفه و سیگنال را در داده ورودی تعیین کرد، می توان ثابت پایدارسازی را توسط رابطه

$$k^2 = F \frac{\Delta k_x}{2\pi} \frac{M_p}{N} \quad (۹)$$

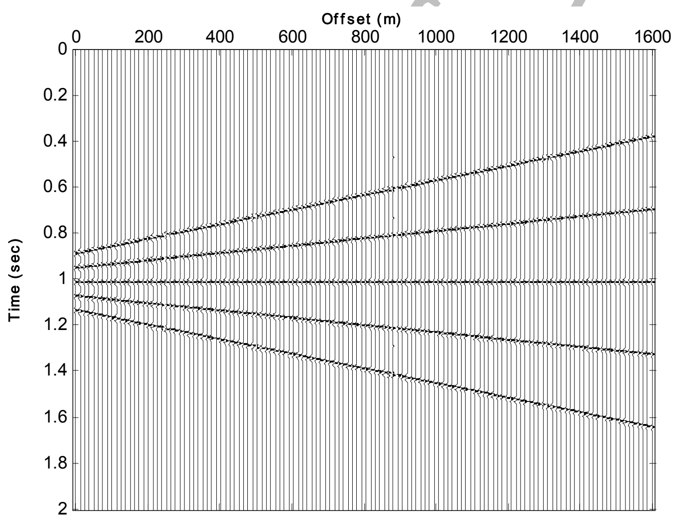
تقریب زد [۲]. که در آن $M_p = 2M + 1$ تعدادکل ضرایب فوریه می باشد. در اینجا k^2 از روشهای آزمون و خطا قابل محاسبه است. در اینجا مقدار ۰.۱٪ بجای k^2 استفاده شده است.

کاربرد الگوریتم بر روی داده های لرزه ای مصنوعی

شکل (۱) یک رکورد چشمه مشترک مصنوعی با فاصله نمونه برداری منظم $\Delta x = 13$ متر بوده است که ۸ رد لرزه از ۱۲۸ رد لرزه رکورد عمداً حذف شده است تا نمونه برداری یکنواخت را بر هم بزنند. موجک بکار رفته برای تهیه این رکورد از نوع ریکر با فرکانس مرکزی ۵۰ هرتز می باشد. شکل (۲)، نمایش سیگنال های بازسازی شده در حوزه (x-t) را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود اصلاً لطمه ای به داده های لرزه ای موجود نخورده و فقط اطلاعات مفقود شده بازسازی شده اند.



شکل ۱. رکورد لرزه ای مصنوعی پس از حذف ۸ رد لرزه در مکانهای مختلف (رکورد لرزه ای نامنظم).



شکل ۲. رکورد لرزه ای حاصل از بکارگیری الگوریتم که در آن رد لرزه های حذف شده بازسازی شده اند.

نتیجه گیری

در این روش بازسازی، سیگنال ها با باند فرکانسی محدود که در امتداد یک مختصه مکانی بطور نامنظم نمونه برداری شده انـد را مـی توان توسط تخمین ضرایب فوریه با روش معکوس و استفاده از کمترین مربعات بازسازی کرد. تنها فرض لازم محدود بودن باند فرکانسـی است. این روش بازسازی را می توان برای هر هندسه نمونه برداری اختیاری بکار برد. این الگوریتم به پهنای باند مکانی شدیداً وابسته است. لذا، بهترین بازسازی معمولاً نیازمند تناسب تقریباً یک به یک بین باند فرکانس مکانی و باند فرکـانس زمـانی اسـت (بـه بیـان دیگـر تعـداد معادلات و مجهولات مسأله با هم همخوانی داشته باشند).

منابع

Bard, Y., 1974, Nonlinear parameter estimation: Academic Press.

Duijndam, A. J. W., 1988, Bayesian estimation in seismic inversion part I-Principles: Geophysics. Prosp., **36**, 878-898.

Feichtinger, H., Grochenig, K., and Strohmer, T., 1995, Efficient numerical methods in non-uniform sampling theory: Numerische Mathematik, **69**, 423-440.

Hampson, D., 1986, Inverse velocity stacking for multiple elimination: J. Can. Soc. Expl. Geophys., **22**, 44-55.

Tarantola, A., 1987, Inverse problem theory: Elsevier.

Thorson, J. R., and Clearbout, J. F., 1985, Velocity stack and slant stochastic inversion: Geophysics, **50**, 2727-2741.