Archive of SID

تضعیف نوفه های اتفاقی به روش f-x deconvolution

عباس کبودین[1] و دکتر عبدالرحیم جواهریان[2]

چکیده

یکی از مسائل مهم که در پردازش داده های لرزه ای دارای اهمیت فراوانی است نحوه تضعیف نوفه‌های تصادفی به منظور افزایش نسبت امواج خواسته به امواج ناخواسته می باشد. در این مقاله جهت تضعیف نوفه های تصادفی از داده های لرزه ای، روش واهمامیخت در حوزه فرکانس–مکان یا همان f-x deconvolution معرفی شده است. اساس کار بر این اصل استوار است که پس از انتقال داده‌ها از حوزه زمان–مکان به حوزه فرکانس–مکان، رویدادهای بازتابی در امتداد محور مکان، از یک ردلرزه به ردلرزه بعدی قابل پیشگویی است اما نوفه‌های تصادفی به این شکل نبوده و قابل پیشگویی نمی‌باشند، در حقیقت این عملگر قادر است انرژی همدوس را از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر در بعد مکان پیش بینی کند. در تدوین این مقاله نرم افزار f-x deconvolution به زبان ریاضی MATLAB تهیه گردیده است. سپس این روش بر روی رکوردهای چشمه مشترک و داده های لرزه‌ای بعد از برانبارش با نوفه‌های تصادفی مختلف اعمال شده است. نتیجه کار حاکی از توانایی این فیلتر در تضعیف نوفه های تصادفی می‌باشد.

کلید واژه ها: واهمامیخت f-x، نوفه های تصادفی، حوزه فرکانس–مکان

Random noise reduction by f-x deconvolution

Abbas Kabodin and Dr. Abdolrahim Javaherian

Abstract

In order to increase the signal/noise ratio, one of the important challenges in seismic data processing is suppression of random noises. In this paper f-x deconvolution or deconvolution in frequency-space domain is employed for reduction of random noises from seismic section. This is based on data transformation from time-space domain to frequency-space domain. Seismic events are correlatable along x-direction from trace to trace but random noises are not. In fact f-x deconvolution is able to predict coherent events from trace to trace in space direction. In this paper a computer code for f-x deconvolution has been written. This program applied on shot records and zero offset section with different levels of random noises. Consequently, the ability of f-x deconvolution in reduction of random noises has been proved.

Keywords: f-x deconvolution, random noise, frequency-time domain.

[1]- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک گرایش لرزه شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

[2]- استاد گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه:

تفسیر دقیق زمین شناختی بدون اعمال پردازش های دقیق و کامل امری اجتناب ناپذیر است. واهامیخت لرزه ای نیز یکی از مهمترین بخش‌های پردازش اطلاعات لرزه ای است که هدف از آن استخراج ضرائب بازتاب از مقطع لرزه ای و نیز تشخیص و تضعیف نوفه‌های تصادفی است. مرسوم ترین روش واهامیخت استفاده از فیلتر وینر بر اساس سری های زمانی است که رابینسون و تریتل (۱۹۸۰) آن را معرفی کردند. با فیلتر کردن در واقع عمل تفکیک و جداسازی انواع مختلف سیگنالها از یکدیگر انجام می شود به طوری که در مرحله پردازش سیگنالها عملگر فیلتر بصورت تضعیف امواج مزاحم مثل نوفه‌ها و یا بصورت تقویت و حتی بازسازی بخشی از سیگنالهایی که به هر نحوی از حالت طبیعی خودشان خارج شده باشند اثر می کند. به همین جهت پردازش در افزایش یک سیگنال و یا کاهش نوفه مستلزم دو گام اساسی است (هورن‌بوستل، ۱۹۹۱). **گام اول:** معرفی سرشت یا کاراکتری که بر اساس آن بتوان سیگنال را از نوفه تشخیص داد **گام دوم:** بسط دادن یک الگوریتم مناسب در طراحی فیلتر، به گونه ای که این الگوریتم بر اساس کاراکتر مذکور تعریف شده باشد (یعنی بتواند سیگنال را از نوفه تشخیص دهد). به عنوان مثال می توان سیگنال را به صورتی تعریف کرد که در یک گستره بخصوص از فرکانس‌ها یا در شیبهای بخصوص قرارگرفته باشد و در مقابل نوفه هم در گستره‌های متفاوتی از فرکانس یا شیبهای متفاوت قرار داشته باشد در این صورت سیگنال را می توان به صورتی تعریف کرد که از روی ردلرزه‌های مجاور خود قابل پیش بینی باشد، ولی در مقابل نوفه از روی ردلرزه‌های مجاور خود غیر قابل پیش بینی است که در واقع با این تعریف، تصادفی بودن نوفه‌ها از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر در نظر گرفته شده است. پس آنچه در اینجا حائز اهمیت است پیوستگی سیگنال و در مقابل تصادفی بودن نوفه در بعد مکان است. بنابراین الگوریتمی مورد نیاز است که قادر باشد انرژی همدوس را از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر در بعد مکان پیش بینی کند که بر همین اساس فیلتر پیشگوکننده ای در حوزه فرکانس–مکان طراحی شده است. این فیلتر پیشگوکننده مکانی با نام f-x deconvolution شناخته می شود. مساله کاملا ساده است، به این طریق که در حوزه فرکانس–مکان رویدادهای خطی و یا حتی رویدادهای شبه خطی را می توان به عنوان ترکیبی از هارمونیکها در نظر گرفت. این جریان، فیلتری چندکاناله است که از آن برای تفکیک قسمت همدوس داده های لرزه ای از بخش تصادفی آن به کار می رود که در پاره ای از موارد نیز احتمال دارد انرژی همدوس غالب را عبور دهد ولی شیبهای با انرژی پایین را حذف نماید. اما اگر بخشی از داده‌های لرزه‌ای تنها شامل ترکیبی از داده‌های لرزه‌ای با شیبهای کم باشد، در این صورت داده‌های مذکور در ردلرزه بصورت خطی در مکان قابل پیش بینی خواهد بود. با این توصیف هر انرژی که قابل پیش بینی نباشد و نتواند توسط این فیلتر پیش بینی شود حکم نوفه را خواهد داشت و باید تضعیف شود. پس از به کار گیری این فیلتر، در عمل مشاهده شده است که فیلتر پیشگوی f-x برای تضعیف نوفه های تصادفی به طور شگفت آوری قوی است روش فیلتر پیشگو کننده مکانی در حوزه فرکانس–مکان توسط کانالز (۱۹۸۴) معرفی و دو سال بعد توسط گلونی (۱۹۸۶) تکمیل تر شد. اساس کار در هر دو مقاله سریهای تریتل (۱۹۷۴) بود. کانالز این فیلتر را برای کاهش نوفه های تصادفی از داده های برانبارش شدهٔ لرزه‌ای مورد استفاده قرارداد اما گلونی ترکیبی از ایده کانالز و تئوری تریتل که توصیفی از فیلتر وینر مختلط است را ارائه داد. یعنی این روش حل فیلتر دوبعدی را به یک بعد در مکان و بعد دیگر در فرکانس تقسیم می کند. نامی که گلونی برای این پردازش به کار برد، بر اساس واهامیخت پیشگو در حوزه فرکانس–مکان، واهامیخت f-x یا همان f-x deconvolution می‌باشد. همچنین نامهای دیگری در اشاره به این پردازش توسط افراد مختلف بکار برده

www.SID.ir

Archive of SID

شده است که عبارتند از:

۱- فیلتر **FXDECON** توسط گلونی (۱۹۸۶).

۲- فیلتر پیشگوی f-x توسط آبما و همکاران (۱۹۹۵).

۳- فیلتر پیشگوی مکانی توسط پیلماز (۲۰۰۱).

۴- فیلتر پیشگوی وینر مختلط درحوزه فرکانس- مکان توسط هورن‌بوستل (۱۹۹۱).

فیلتر وینر

امروزه حوزه زمان گسسته فیلتر وینر یک پیوست لازم در بیشتر سیستمهای پردازش داده‌های لرزه‌ای است. فیلتر وینر هر موجک لرزه‌ای را به شکل دلخواهی تبدیل می کند. شیوه کار در این روش بر اساس حداقل کردن مجموع مربعات اختلاف بین سیگنال خروجی دلخواه و سیگنال خروجی واقعی از فیلتر می باشد. به طور کلی در این نوع فیلتر، سه سیگنال زیر مطرح می باشند (رابینسون و تریتل، ۱۹۸۰):

۱- سیگنال ورودی یا x_t

۲- سیگنال خروجی دلخواه یا d_t

۳- سیگنال خروجی واقعی یا y_t

در طراحی فیلتر وینر این سه سیگنال به صورت سه موجک یا سیگنال گذرا و یا سه سری زمانی پریودیک و حقیقی می باشند. تحلیل ریاضی برای تمامی حالات ذکر شده شبیه به یکدیگر می باشد که هدف از آن یافتن فیلتر a_t بر حسب جملاتی از سیگنال ورودی و سیگنال خروجی دلخواه است به طوری که فیلتر به دست آمده از این روش فیلتری خطی خواهد بود.

اساس روش فیلتر وینر، کمینه کردن انرژی یا توان موجود در تفاوت بین خروجی دلخواه d_t و خروجی واقعی y_t به عنوان خطای e_t می باشد. به عبارتی دیگر جهت یافتن ضرایب فیلتر وینر از مفهوم خطای مجموع کمترین مربعات (L) استفاده شده است. هدف، یافتن فیلتری بر حسب جملاتی از سیگنال ورودی و سیگنال خروجی دلخواه و سیگنال خروجی واقعی می باشد.

$$L = \sum_t (d_t - y_t)^2 \qquad (۱)$$

خروجی واقعی از همامیخت فیلتر با ورودی بدست می آید.

$$y_t = f_t * x_t = \sum_\tau f_\tau x_{t-\tau} \qquad (۲)$$

با جایگزینی رابطه (۲) در رابطه (۱) رابطه زیر بدست می آید.

$$L = \sum_t \left(d_t - \sum_\tau f_\tau x_{t-\tau} \right)^2 \qquad (۳)$$

هدف محاسبه ضرایب فیلتر $(f_1, f_2, ..., f_{n-1})$ است که باید خطا کمینه شود. برای مقاصد علمی و امکان برنامه ریزی بر روی رایانه باید فیلتری به طول محدود در نظر گرفت.

جهت کمینه کردن کمیت L باید مشتقات جزئی آنرا نسبت به هریک از ضرایب فیلتر f_t برابر صفر قرارداد بنابراین:

$$\partial L / \partial f_i = 0 \qquad (۴)$$

با به توان رساندن سمت راست رابطه (۳)، معادله زیر حاصل می شود.

$$L = \sum_t d_t^2 - 2\sum_t d_t \sum_\tau f_\tau x_{t-\tau} + \sum_t \left(\sum_\tau f_\tau x_{t-\tau} \right)^2 \qquad (۵)$$

که با جایگزینی آن در رابطه (۴)، رابطه زیر بدست می آید.

$$-2\sum_t d_t x_{t-i} + 2\sum_t \left(\sum_\tau f_\tau x_{t-\tau} \right) x_{t-i} = 0 \qquad (۶)$$

به عبارتی دیگر:

$$\sum_\tau f_\tau \sum_t x_{t-\tau} x_{t-i} = \sum_t d_t x_{t-i} \qquad (۷)$$

که در آن:

$$i = 0,1,2,...,(n-1) \qquad (۸)$$

با تعریف روابط زیر:

$$\sum_t x_{t-\tau} x_{t-i} = r_{i-\tau} \qquad (۹)$$

$$\sum_t d_t x_{t-i} = g_i \qquad (۱۰)$$

www.SID.ir

Archive of SID

و قراردادن آنها در رابطه (۷) نتیجه زیر حاصل خواهد شد.

$$\sum_{\tau} f_{\tau}\ r_{i-\tau} = g_i \qquad (۱۱)$$

شکل ماتریسی رابطه فوق به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \cdots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \cdots & r_{n-2} \\ \vdots & \vdots & r_0 & & \vdots \\ & & & \ddots & \\ r_{n-1} & r_{n-2} & \cdots & & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_\alpha \\ g_1 \\ \vdots \\ g_{n-1} \end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

ماتریس مربعی r ماتریس خود همبستگی ورودی و g همبستگی متقابل بین خروجی دلخواه و ورودی است که از حل معادله ماتریسی فوق ضرایب فیلتر وینر یا همان ماتریس f بدست می‌آید.

$$f_t = (f_0, f_1, \ldots, f_{n-1})$$

روش کار

انتقال داده ها از حوزه t-x به حوزه f-x

داده‌های لرزه‌ای، به صورت تغییرات دامنه‌های خروجی مربوط به گیرنده‌های مختلف نسبت به زمان (به عنوان متغیر مستقل) ثبت می‌شوند. با انتقال داده‌ها از حوزه زمان–مکان به حوزه فرکانس–مکان، هر داده لرزه‌ای تبدیل به یک عدد مختلط شامل قسمت حقیقی و قسمت موهومی می‌شود. در این انتقال پدیده‌های با شیب مشابه به صورت یک سیگنال مختلط سینوسی با فرکانس مشخص تبدیل می‌شوند که در این صورت قابل پیشگویی هستند.

برای انتقال داده ها از حوزه زمان–مکان به حوزه فرکانس–مکان ابتدا از ماتریس داده‌های ورودی ردلرزه ها، هر ستون آن انتخاب شده و سپس با استفاده از تابع تبدیل فوریه (FFT) داده‌های مربوط به هر ستون به حوزه فرکانس–مکان انتقال داده شده است.

$$S(f-x) = FFT\{S(t-x)\} \qquad (۱۳)$$

در حقیقت ماتریس $S_{m\times n}$، داده های لرزه ای در حوزه $(t-x)$، تبدیل به ماتریس $S_{m\times n}$ در حوزه $(f-x)$ می شود به طوری که هر عنصر از ماتریس یک عدد مختلط است.

محاسبه فیلتر f-x deconvolution

برای محاسبه ضرایب فیلتر باید معادله ماتریسی زیر بر اساس تئوری فیلتر وینر حل شود:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \cdots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & \cdots & r_{n-2} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ r_{n-1} & r_{n-2} & \cdots & r_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ g_{n-1} \end{bmatrix} \qquad (۱۴)$$

یا به عبارتی:

$$ra = g \qquad (۱۵)$$

که در آن r ماتریس خودهمبستگی ورودی است که این ماتریس از نوع توپلتز است. (ماتریس توپلتز نوعی ماتریس مربعی است که در پردازش داده های لرزه ای کاربرد زیادی دارد. ویژگی مهم این ماتریس تمرکز عمده جملات و مقادیر وزنی ماتریس در نزدیکی یا بر روی قطر اصلی ماتریس می باشد به طوری که جملات دیگر صفر یا نسبت به جملات قطر اصلی کوچک هستند) و g ماتریس همبستگی متقابل بین ورودی و خروجی دلخواه است. بنابراین جهت بدست آوردن ضرایب فیلتر در حوزه فرکانس–مکان باید در مرحله اول ماتریس r و g بدست آید و چون هر سطر از داده‌های این ماتریسها به یک فرکانس خاص تعلق دارد پس ابتدا از ماتریس $a_{m\times n}$ در حوزه $(f-x)$، هر سطر از ماتریس را به صورت $a_{1\times n}$ برای آن فرکانس خاص انتخاب کرده و ضرایب فیلتر برای آن فرکانس خاص محاسبه می شود. سپس برای بدست آوردن ماتریس r لازم است خودهمبستگی ماتریس $r_{1\times n}$، و برای ماتریس g لازم

www.SID.ir

Archive of SID

است همبستگی متقابل ماتریس $r_{1\times n}$ با خروجی دلخواه محاسبه شود:

$$r_\tau = \sum_\tau x_t x_{t-\tau} \qquad (۱۶)$$

در این صورت اگر ماتریس x به ابعاد $1\times n$ باشد حاصل خودهمبستگی آن، ماتریسی به ابعاد $1\times(2n-1)$ خواهد بود و چون حاصل خودهمبستگی در محدوده $-(n-1)$ تا $(n-1)$ است پس بیشینه مقدار آن در تأخیر صفر $(\tau=0)$ می باشد که همان مقدار انرژی سری زمانی است. در اینجا از مقدار nام ماتریس خودهمبستگی یعنی همان مقدار تأخیر صفر تا اولین zero-crossing در نظر گرفته می‌شود سپس ماتریس توپلتز $r_{10\times10}$ حاصل از ماتریس خودهمبستگی بدست می آید.

$$g_\tau = \sum_t d_t x_{t-\tau} \qquad (۱۷)$$

از آنجایی که در فیلترهای پیشگو خروجی دلخواه d همان ورودی x با شیفت زمانی α است، لذا با در نظر گرفتن رابطه (۱۶) رابطه زیر حاصل می شود:

$$g_\tau = \sum_t d_t x_{t-\tau} = \sum_t x_{t+\alpha} x_{t-\alpha} = \sum_t x_t x_{t-(\alpha+\tau)} = r_{\alpha+\tau}$$

بنابراین برای تعیین خروجی دلخواه کافیست که از سطر یا ستون اول آرایه r_a از ماتریس خودهمبستگی $r_{10\times10}$ به تعداد طول فیلتر انتخاب شود. سپس برای حل معادلات مربوطه به ماتریس خودهمبستگی $r_{10\times10}$ از روش لوینسون استفاده گردد.

انتقال و برگردان ضرایب فیلتر از حوزه f-x به حوزه t-x

برای هر فرکانس ثابت در حوزه فرکانس–مکان یک ماتریس ضرایب فیلتر $a(t)$ بصورت زیر بدست می آید:

$$a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$$

که تمام ضرایب مربوط به فرکانسهای مختلف را در ماتریسی به ابعاد $m\times n$ قرار می دهد. همچنین به ازاء ضرایب فیلتر مربوط به فرکانسهای مختلف که در رابطه بالا حاصل شد اپراتور خطای پیشگو به صورت زیر بدست می آید:

$$1,0,0,\ldots,0,-a_0,-a_1,\ldots,-a_{n-1}$$

که تمام ضرایب عملگر فیلتر خطای پیشگو را در ماتریسی به ابعاد $m\times(n+\alpha)$ قرار می دهد. حال چون هر دو ماتریس ضرایب فیلتر و ماتریس ضرایب اپراتور خطای پیشگو در حوزه فرکانس–مکان هستند بنابراین هر دو ماتریس فوق به صورت ماتریسهایی با ابعاد $m\times n$ تحت تبدیل عکس فوریه به حوزه زمان– مکان انتقال داده می شود (m به عنوان سمپلهای زمانی و n طول فیلتر می باشد).

$$a(t,x) = \mathrm{IFFT}\{a(f,x)\} \qquad (۱۹)$$

خروجی فیلتر f-x deconvolution

برای بدست آوردن خروجی فیلتر باید ماتریس ضرایب فیلتر را با ماتریس داده های اولیه حاصل از رکورد لرزه‌ای در حوزه زمان–مکان همامیخت کرد:

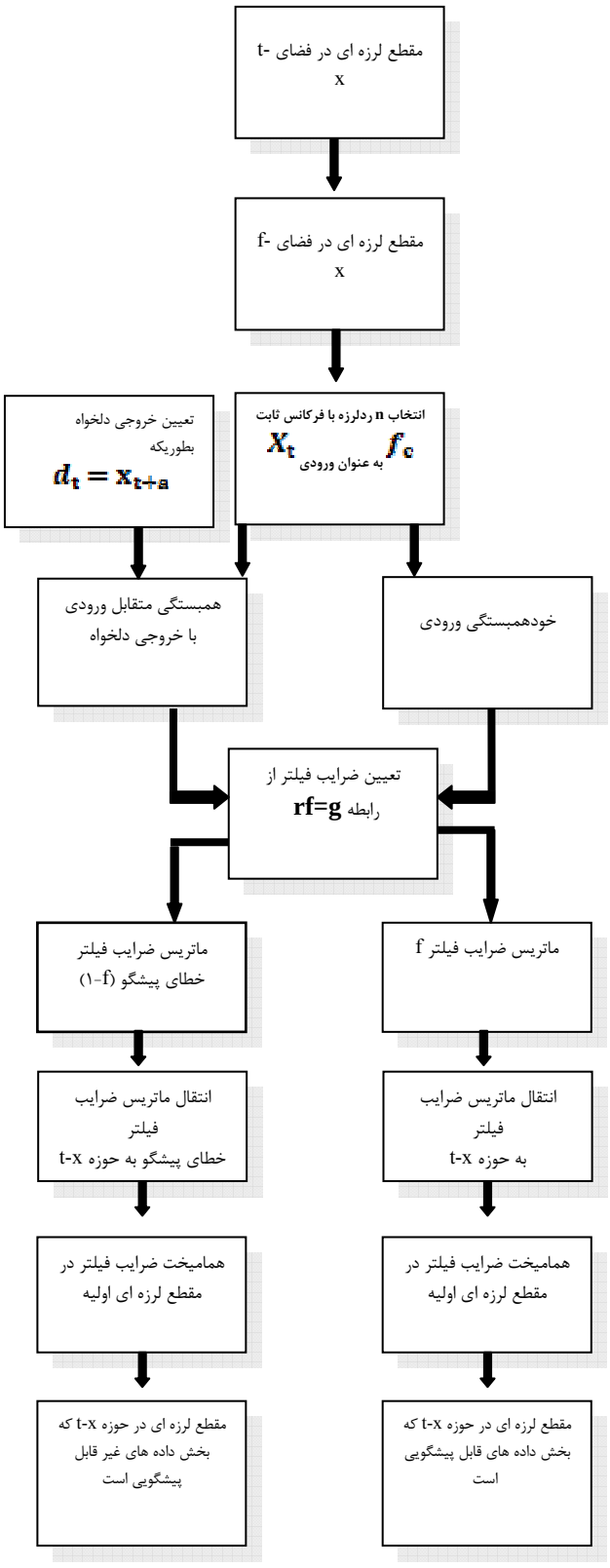
$$y(t) = a(t) * x(t) \qquad (۲۰)$$

که حاصل خروجی آن رکورد لرزه‌ای فیلتر شده است. به طور کلی خروجی این فرایند یعنی قسمت قابل پیش بینی از ورودی که شامل داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده یا رکورد لرزه‌ای عاری از نوفه می باشد، از همامیخت ماتریس ضرایب فیلتر پیشگو با داده های لرزه‌ای اولیه بدست می آید.

شکل ۱ نمودار کلی جریان نرم افزاری را که برای تضعیف نوفه های تصادفی از مقطع لرزه‌ای به کار برده شده نمایش می دهد. در این نمودار دو خروجی مشاهده می شود که یک خروجی مربوط به نوفه‌های تصادفی تضعیف شده و خروجی دیگر مربوط به مقطع لرزه‌ای اولیه پس از بهبود کیفیت به علت کاهش نوفه‌های تصادفی می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نمودار جریان نرم افزار f-x deconvolution (هریسون،۱۹۹۰).

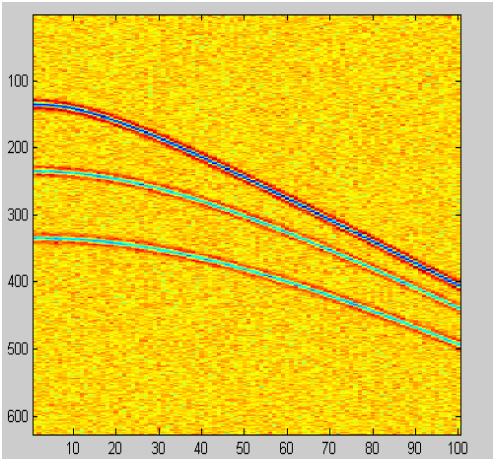
تضعیف نوفه های اتفاقی

بیشتر داده‌های لرزه‌ای، بخصوص آنهایی که در خشکی برداشت می‌شوند، حاوی نوفه‌های تصادفی و همدوس هستند که بهتر است قبل از تفسیر و در طول پردازشها تضعیف شوند. در مقاطع لرزه‌ای نوفه‌های تصادفی از یک ردلرزه به ردلرزه بعدی (در امتداد محور مکان) به یک شکل نبوده و قابل پیشگویی نیستند، در حالی که رویدادهای بازتابی را می‌توان در این امتداد از یک ردلرزه به ردلرزه بعدی شناسایی کرد. لذا امید آن می رود که به کمک فیلتر f-x deconvolution این نوفه‌های تصادفی را از رکورد لرزه‌ای پیش بینی و سپس تضعیف کرد. به همین منظور جهت نشان دادن توانایی این فیلتر در کاهش نوفه‌های تصادفی، دوحالت زیر در نظر گرفته می شود.

۱. اعمال عملگر روی مقاطع لرزه‌ای قبل از برانبارش داده‌ها

۲. اعمال عملگر روی مقاطع لرزه‌ای بعد از برانبارش داده‌ها

شکل ۲ مقطع لرزه‌ای مربوط به یک مدل زمین‌شناسی سه لایه تخت در مرحله قبل از برانبارش داده‌های لرزه‌ای می باشد که نسبت سیگنال به نوفه ۵ در آن اعمال شده است.

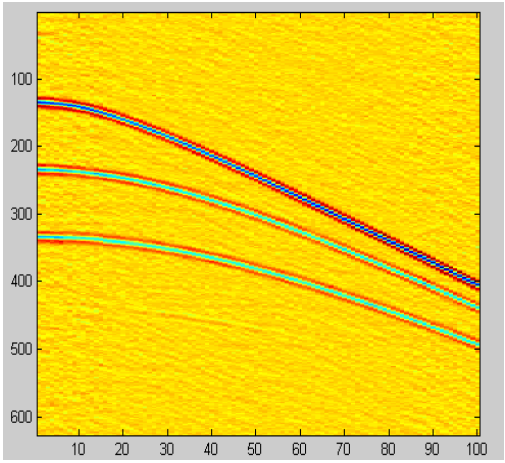


شکل ۲. مقطع لرزه ای قبل از برانبارش مربوط به سه لایه افقی با نسبت سیگنال به نوفه ۵.

www.SID.ir

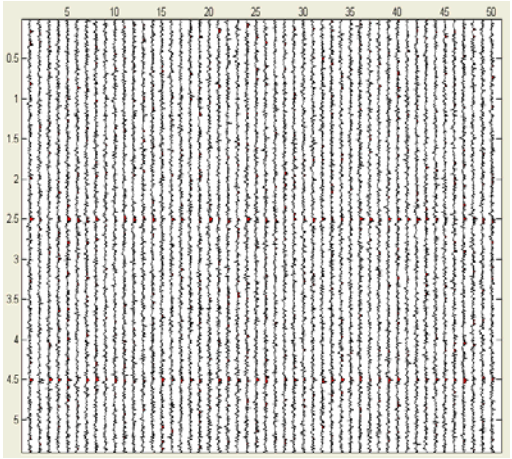
Archive of SID

شکل ۳ مقطع لرزه‌ای شکل ۲ بعد از اعمال عملگر f-x deconvolution می‌باشد. همانطور که مشاهده می شود مقطع لرزه‌ای کیفیت بهتری پیدا کرده است.



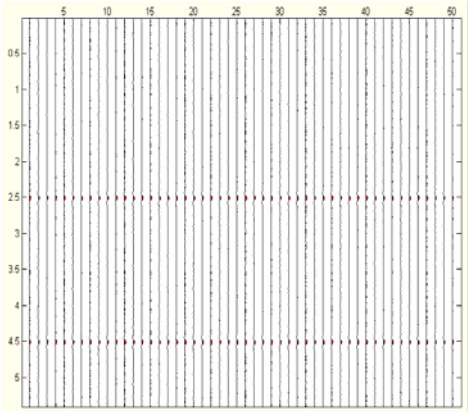
شکل۳. مقطع لرزه ای شکل ۲ بعد از اعمال فیلتر f-x deconvolution.

شکل ۴ مقطع لرزه ای مصنوعی مربوط به یک مدل زمین شناسی دو لایه تخت بعد از برانبارش داده های لرزه ای را نشان می دهد که نسبت سیگنال به نوفه ۵ می باشد.



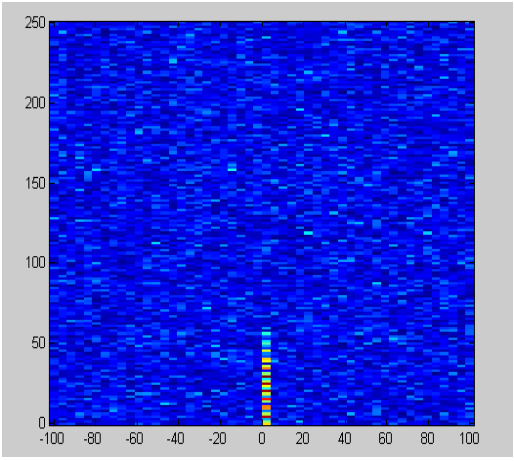
شکل ۴. مقطع لرزه ای بعد از برانبارش، مربوط به دو لایه افقی با نسبت سیگنال به نوفه ۵.

شکل ۵ مقطع لرزه‌ای شکل ۴ بعد از اعمال عملگر f-x deconvolution می‌باشد. همانطور که مشاهده می شود مقطع لرزه‌ای کیفیت بهتری پیدا کرده است

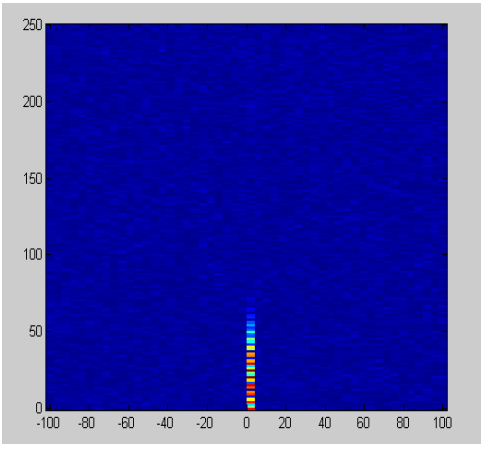


شکل ۵. مقطع لرزه ای بعد از برانبارش، مربوط به دو لایه افقی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ (کبودین، ۱۳۸۸).

شکلهای ۶ و ۷ به ترتیب طیف دامنه مقاطع لرزه‌ای شکلهای ۴ و ۵ را نمایش می دهد. طیف دامنه مربوط به شکل ۵ به علت تضعیف نوفه‌های تصادفی وضوح بهتری یافته است.



شکل۶ . مقطع لرزه ای شکل ۴ پس از تبدیل به حوزه f-k (محور افقی بر حسب km^{-1} و محور عمودی بر حسب Hz).



شکل۷ . مقطع لرزه ای شکل ۵ پس از تبدیل به حوزه f-k (محور افقی بر حسب km^{-1} و محور عمودی بر حسب Hz).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

۱- با طراحی فیلتر f-x deconvolution که بر اساس مبانی سه فیلتر، وینر و وینر مختلط و واهمامیخت پیشگو بنا نهاده شده است می‌توان برای تضعیف نوفه های تصادفی در رکوردهای لرزه‌ای اقدام نمود.

۲- اعمال فیلتر f-x deconvolution بر روی رکوردهای لرزه‌ای قبل از برانبارش (چشمه مشترک) و مقاطع لرزه‌ای بعد از برانبارش، در هر دو حالت نتیجه خوبی در تضعیف نوفه‌های تصادفی می دهد.

منابع

- کبودین، ع.، ۱۳۸۸، تضعیف نوفه های اتفاقی به روش f-x deconvolution، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک (لرزه‌شناسی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

- Abma, R., and Claerbout, J. F., 1993, Lateral prediction for noise attenuation by t-x and f-x techniques: SEP, 79, 13-30.

- Canales, L., 1984, Random noise reduction: 54th Annuual Internet. Mtg., SEG, Expanded Abstracts, 525-527.

- Gulunay, N., 1986, fx decon and complex wiener prediction filter: 56th Annual Internat. Mtg., SEG, Expanded Abstracts, 279-281.

- Harrison, M. P., 1990, f-x linear prediction filtering of seismic images, University of Calgary, Canada.

- Hornbostel, S., 1991, Spatial prediction filtering in the t-x and f-x domains: Geophysics, 56, 2019-2026.

- Robinson, E. A., and Treitel, S., 1980, Geophysical signal analysis, Prentice Hall.

- Treitel, S., 1974, The complex wiener filter: Geophysics, 39, 169-173.

- Yilmaz, O., 2001, Seismic data analysis, SEG Publication.

www.SID.ir