JRAG
نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی
انجمن ژئوفیزیک ایران - ۱۳۵٤
Iranian Geophysical Society- 1975
دانشگاه صنعتی شاهرود

دوره ۲، شماره ۱، ۱۳۹۵، صفحات ۹–۱
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22044/JRAG.2016.652

حذف اثر استاتیک باقیمانده با نوفه‌زدایی در حوزه مکان– فرکانس (f-x)

سید حسین سید آقامیری[1*] و علی غلامی[2]

۱- دانشجوی دکتری، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران
۲- دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۲

* نویسنده مسئول مکاتبات: **h.aghamiry@ut.ac.ir**

چکیده

تخمین زمان تصحیح استاتیک باقیمانده ناشی از تغییر سریع خواص فیزیکی و توپوگرافی لایه‌های نزدیک سطح، از مراحل مهم پردازش داده‌های لرزه‌ای بوده که کیفیت انجام آن بر دیگر مراحل پردازش به ویژه تحلیل سرعت و برانبارش تأثیر زیادی دارد. در این مقاله روش جدیدی برای تخمین مقادیر استاتیک باقیمانده ارائه شده است. مقادیر استاتیک باقیمانده در بخش حقیقی و موهومی هر فرکانس از حوزه f-x خود را به صورت نوفه‌های تصادفی نشان می‌دهند که بر سیگنالی که در بیشتر مواقع هموار است سوار شده‌اند. پس می‌توان با نوفه‌زدایی هر فرکانس از طریق کمینه کردن یک تابع هزینه که شامل نرم دو عدم تطابق و نرم دو مدل با مشتق اول به عنوان اپراتور منظم سازی است اثر استاتیک را کاهش داد. برای کمینه کردن تابع هزینه از روش‌های منظم سازی حین تکرار استفاده می‌شود و در نهایت از طریق محاسبه بیشینه همبستگی داده اولیه و داده نوفه‌زدایی شده، مقادیر استاتیک باقیمانده تخمین زده می‌شوند. موفقیت روش جدید با اعمال آن بر داده مصنوعی و داده واقعی نشان داده شده است.

واژگان کلیدی

تصحیح استاتیک
تصحیح استاتیک باقیمانده
نوفه‌زدایی
فضای کریلو
روش‌های نیمه همگرا

۱- مقدمه

به‌هم‌ریختگی جبهه موج دریافت شده در اثر تغییر ضخامت لایه‌های نزدیک سطح و تغییر خواص فیزیکی آن‌ها در برداشت داده‌های لرزه‌ای صحرایی امری اجتناب‌ناپذیر است. چنانچه چشمه‌ها و گیرنده‌ها را در هنگام برداشت داده‌های لرزه‌ای به زیر لایه هوازده منتقل شود این اثر دیگر به وجود نمی‌آید ولی این عمل غیرممکن است و اثرات ایجاد شده در پردازش داده‌های لرزه‌ای تصحیح می‌شوند. این اثرهای ناخواسته که به عنوان آشفتگی‌های استاتیک از آن‌ها یاد می‌شود در چند مرحله حذف می‌شوند (Yilmaz, 2001). پس از مرحله‌ای که به تصحیح استاتیک ارتفاع معروف است تغییرات آرام اثر استاتیک (فرکانس پایین) حذف می‌شوند ولی تغییرات سریع اثر استاتیک (فرکانس بالا) هنوز در داده وجود دارد که توسط تصحیح استاتیک باقیمانده حذف می‌شوند. حذف بهینه استاتیک باقیمانده برای مراحل دیگر پردازش از جمله تصحیح برون‌راند نرمال (normal moveout)، تحلیل سرعت و برانبارش (stack) بسیار مهم و حیاتی است.

پرتوهای سیر کننده بین چشمه و گیرنده که از عمق‌های مختلف می‌آیند مسیرهای متفاوتی را طی می‌کنند پس اثر لایه‌های نزدیک سطح بر روی هر کدام از آن‌ها متفاوت است. در عمل با در نظر گرفتن فرض سطح شمول (surface-consistent) مقدار تصحیح لازم برای کل یک ردلرزه (trace) را یکسان در نظر می‌گیرند که به خاطر تباین زیاد سرعت بین لایه هوازده و لایه زیرین، در غالب موارد این فرض با خطای کم صادق است (Sheriff and Geldart, 1995). پس می‌توان گفت: منظور از تصحیح استاتیک باقیمانده جابجایی‌های زمانی است که به ردلرزه‌ها داده می‌شود تا اثر عبور موج لرزه‌ای از لایه‌هایی با تغییر شدید اصلاح شود (Gholami, 2013).

روش‌های زیادی برای تصحیح استاتیک باقیمانده پیشنهاد شد. دسته‌ای از این روش‌ها بر اساس وارون سازی زمان رسید و تفکیک آن بر حسب اثرهای مختلف از جمله اثر چشمه و گیرنده و به دست آوردن جابجایی لازم برای هر چشمه و گیرنده عمل می‌کنند (Taner et al., 1974 ، Wiggins et al., 1976 و Hatherly et al., 1994). دسته‌ای دیگر تلاش می‌کنند تا توان برانبارش را از طریق حل یک مسئله وارون غیرخطی حداکثر کنند (Ronen and Claerbout, 1985). Henley (2012) تصحیح استاتیک باقیمانده ناپایا (non-stationary) را پیشنهاد داد که فرض سطح شمول بودن ردلرزه را در نظر نمی‌گرفت . Gholami (2013) به مسئله استاتیک باقیمانده به دید دیگری نگاه کرد. اثر استاتیک باعث افزایش رتبه (rank) مقطع می‌شود. با به دست آوردن تقریب رتبه پایین مناسب می‌توان مسئله استاتیک را حل کرد. محاسبه تقریب رتبه پایین خود یک مسئله بهینه‌سازی بوده و نیاز به یک تبدیل تنک کننده دارد.

در این مقاله می‌خواهیم از روش جدیدی برای حذف استاتیک باقیمانده استفاده کنیم. استاتیک‌های باقیمانده مانند نوفه تصادفی بر روی هر فرکانس داده سوار هستند حال آنکه در حالت بدون اثر استاتیک این فرکانس‌ها هموار (smooth) هستند. اگر بتوان با روشی مناسب، نوفه تصادفی فرکانس‌های مختلف را حذف کرد و مقطع f-x اصلاح شده را به زمان برگرداند می‌توان از طریق محاسبه همبستگی (correlation) آن با داده اصلی مقدار تصحیح استاتیک باقیمانده لازم برای تصحیح هر ردلرزه را به دست آورد. در روش پیشنهادی این فرایند چند بار تکرار می‌شود تا تخمین بهتری از مقادیر استاتیک به دست آید.

۲- تئوری روش

اگر $d(t,x)$ داده‌ای باشد که اثر استاتیک باقیمانده ندارد (d نشان‌دهنده مقطع، x دورافت و t نشان‌دهنده زمان است) و $r(x)$ برداری تصادفی بوده که استاتیک اعمال شده برای هر دورافت را بیان می‌کند می‌توان مقطعی که اثر استاتیک بر آن اعمال شده است را به صورت زیر تعریف کرد:

$$d_s(t,x) = d(t + r(x), x) \tag{۱}$$

که $d_s(t,x)$ نشان‌دهنده مقطعی است که اثر استاتیک روی آن اعمال شده است. حال رابطه(۱) در حوزه f-x به صورت زیر خواهد بود:

$$\hat{d}_s(f,x) = \hat{d}(f,x) e^{-i2\pi f r(x)} \tag{۲}$$

که $\hat{d}_s(f,x)$ حوزه f-x داده با اثر استاتیک و $\hat{d}(f,x)$ حوزه f-x داده بدون اثر استاتیک بوده و $i=\sqrt{-1}$ است. چون $\hat{d}(f,x)$ مختلط است می‌توان آن را به صورت $|\hat{d}(f,x)|e^{i\angle\hat{d}(f,x)}$ بیان کرد که $|\hat{d}(f,x)|$ نشان‌دهنده اندازه و $\angle\hat{d}(f,x)$ نشان‌دهنده فاز آن است.

$$\hat{d}_s(f,x) = |\hat{d}(f,x)| \, e^{i[\hat{d}(f,x) - 2\pi f r(x)]} \tag{۳}$$

از رابطه ۳ می‌توان فهمید که اثر استاتیک ($2\pi f r(x)$)، فقط فاز داده در حوزه f-x را تغییر داده است. چنانچه بتوان جمله $2\pi f r(x)$ را از فاز رابطه ۳ حذف کرد تصحیح استاتیک انجام می‌شود. $r(x)$ یک بردار تصادفی است حال برای فرکانس خاص f_0، $2\pi f_0 r(x)$ مقیاس شده $r(x)$ است که باز هم تصادفی است. می‌توان فاز رابطه ۳ را برای فرکانس f_0 به صورت زیر نوشت:

$$\hat{d}_s(f_0,x) = \hat{d}(f,x) - 2\pi f_0 r(x) \tag{۴}$$

که $\angle\hat{d}_s(f_0,x)$ فاز حوزه f-x مقطع با اثر استاتیک است. می‌توان با حذف اثر جمله تصادفی ایجاد شده در اثر استاتیک، که همان فرآیند نوفه‌زدایی (Denoising) است اثر استاتیک را از این فرکانس خاص حذف کرد. ولی مشکل اینجاست که $\angle\hat{d}(f,x)$ ماهیت نامشخص دارد و ممکن است در اثر تعدیل به بازه ۰ تا ۲π شکستگی‌هایی در آن ایجاد شود این تعدیل‌ها از آنجا ناشی می‌شود که در حالت گسسته همه فرکانس‌ها در بازه [π −π] (یا [0 2π])

قرار می‌گیرند و فرکانس‌های خارج از این بازه، به بازه $[-\pi\ \ \pi]$ (یا $[0\ \ 2\pi]$) تعدیل داده می‌شوند.

مسئله نوفه‌زدایی حل وارون یک معادله با دو مجهول است. تا زمانی که اطلاعاتی در مورد ماهیت و خانواده نوفه ($r(x)$) و سیگنال ($\angle\hat{d}(f,x)$) وجود نداشته باشد نمی‌شود به خوبی این‌ها را از هم تفکیک کرد. از طرف دیگر فاز بسیار حساس است و ممکن است حین فرآیند نوفه‌زدایی با اضافه یا کم شدن مقدار اندکی به فاز واقعی، مقطع در حوزه زمان به هم بریزد. راه دیگر این است که با بخش حقیقی و موهومی رابطه ۳ جداگانه برخورد شود.

$$real(\hat{d}_s(f_0,x)) = |\hat{d}(f_0,x)| \cos[\hat{d}(f,x) - 2\pi f_0 r(x)] \qquad (۵)$$

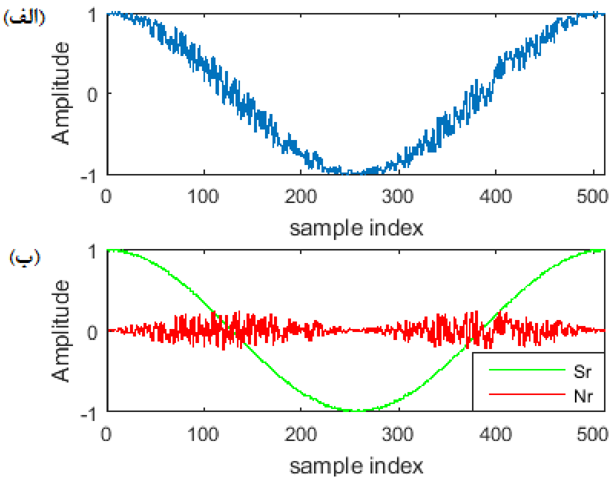
که real تابعی است که بخش حقیقی یک عدد مختلط را نشان می‌دهد. می‌توان جمله کسینوسی را ساده‌تر کرده و رابطه ۵ را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} real(\hat{d}_s(f_0,x)) = |\hat{d}(f_0,x)|[&\cos(\hat{d}(f,x)) \\ &\cos(2\pi f_0 r(x)) + \sin(\hat{d}(f,x))\sin(2\pi f_0 r(x))] \end{aligned} \qquad (۶)$$

چون $r(x)$ یک سیگنال تصادفی است $cos(2\pi f_0 r(x))$ هم سیگنالی تصادفی خواهد بود و چون مقدار $2\pi f_0 r(x)$ کوچک است در نتیجه $cos(2\pi f_0 r(x))$ نزدیک به ۱ نوسان می‌کند. کوچک بودن $2\pi f_0 r(x)$ بسته به فرکانس انتخابی و میزان استاتیک دارد. در الگوریتم پیشنهادی ابتدا فرکانس‌های کوچک انتخاب می‌شود و تصحیح استاتیک انجام می‌شود و $r(x)$ کاهش می‌یابد حال در تکرار بعدی محدوده بیشتری از فرکانس‌ها انتخاب می‌شود و به این ترتیب همواره $2\pi f_0 r(x)$ کوچک خواهد بود. از طرفی $sin(2\pi f_0 r(x))$ هم سیگنالی تصادفی است که نزدیک صفر نوسان می‌کند. به عنوان مثال فرض کنید $r(x)$ بین ۵ میلی‌ثانیه و ۵- میلی‌ثانیه نوسان کند و زمان نمونه‌برداری ۱ میلی‌ثانیه باشد و در تکرار اول بیشترین فرکانس استفاده شده ۵ هرتز باشد در نتیجه $cos(2\pi f_0 r(x))$ بین ۰.۹۸۷۷ و ۱ نوسان می‌کند و $sin(2\pi f_0 r(x))$ بین ۰ و ۰.۱۵۶۴ نوسان می‌کند. پس می‌توان گفت بخش کسینوسی در رابطه ۶، سیگنالی هموار است که اندکی نوفه تصادفی دارد و بخش سینوسی در رابطه ۶ یک نوفه تصادفی است که توسط یک سینوسی مدوله شده است. حال اگر بخش کسینوسی در رابطه (۶) با S_r (بخش سیگنال) و بخش سینوسی با N_r (بخش نوفه) نمایش داده شود می‌توان رابطه ۶ را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$real(\hat{d}_s(f_0,x)) = S_r + N_r \qquad (۷)$$

برای نشان دادن این ادعا یک مثال در شکل ۱ آورده شده است. به مقطعی با یک پدیده خطی مقادیر استاتیک تصادفی اعمال شده است. S_r و N_r این مقطع در شکل ۱-ب و مجموع آن‌ها یعنی $real(\hat{d}_s(f_0,x))$ در شکل ۱-الف نشان داده شده است.



شکل ۱: الف) بخش حقیقی یک فاز خطی بعد از اضافه کردن جابجایی استاتیک تصادفی ب) مولفه های S_r و N_r مربوط به قسمت الف.

مقدار هموار بودن سیگنال S_r به مقدار استاتیک اعمال شده وابسته است هر چقدر جابجایی استاتیک کمتر باشد تقریب بهتری از یک تابع هموار خواهد بود.

برای بخش موهومی این فرکانس هم می‌توان رابطه مشابهی نوشت:

$$imag(\hat{d}_s(f_0,x)) = S_i + N_i \qquad (۸)$$

که S_i به بخش هموار و N_i به بخش تصادفی اشاره دارد و $imag$ تابعی است که بخش موهومی یک عدد مختلط را نشان می‌دهد.

حال بخش‌های تصادفی رابطه ۷ و ۸ که برای یک فرکانس خاص است باید حذف شوند.

نوفه‌زدایی یک مسئله وارون است. اگر داده نوفه دار b، داده بدون نوفه x و نوفه n باشد می‌توان مسئله را به صورت b=x+n نوشت. برای حل درست این مسئله باید اطلاعاتی در مورد سیگنال بدون نوفه (مدل) و نوفه داشته باشیم و با انتخاب نرم (norm) مناسب برای عدم تطابق (misfit) و قید مناسب بر روی مدل، به جواب مطلوب برسیم. در اینجا S_r و S_i هموار هستند و می‌توان از نرم‌های هموارکننده روی مدل استفاده کرد (Aster et al., 2005). تابع هزینه (cost function) برای بخش حقیقی یا موهومی یک فرکانس خاص به صورت زیر است:

$$\underset{x}{\operatorname{argmin}} \|b - x\|_2^2 + \|Dx\|_2^2 \qquad (۹)$$

که λ پارامتر منظم سازی و $\|D.\|_2^2$ نرم هموارکننده است که در این مقاله D اپراتور مشتق اول است. جواب رابطه ۹ به صورت صریح وجود دارد و به صورت زیر است:

$$x = \left(I + \lambda D^T D\right)^{-1} b \qquad (۱۰)$$

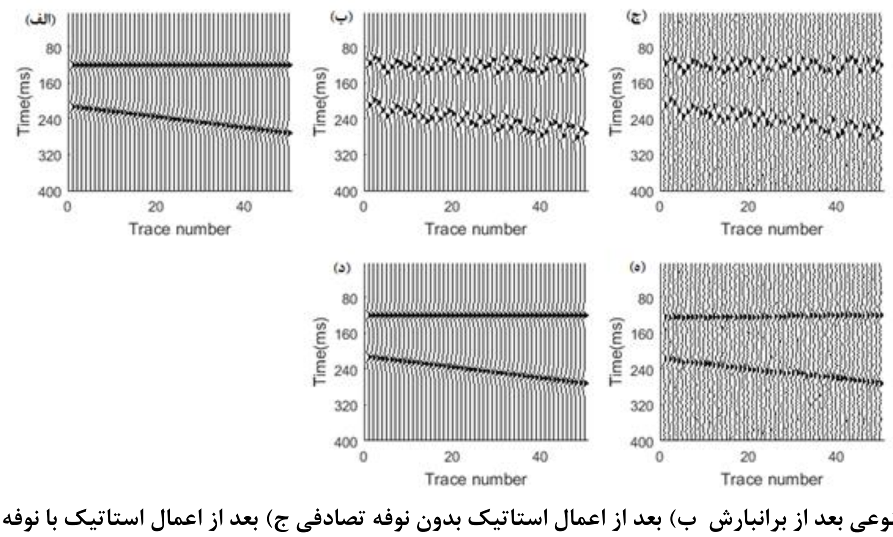
این رابطه برای هر فرکانس دو مرتبه محاسبه شود و در هر بار

محاسبه باید برای مقدارهای مختلف پارامتر منظم ساز حل شود تا پارامتر منظم ساز مناسب انتخاب شود. همچنین همان‌طور که ذکر شد الگوریتم پیشنهادی برای تخمین بهتر از مقادیر استاتیک، چندین مرتبه بر داده اعمال می‌شود. در نتیجه انجام تصحیح استاتیک با استفاده از رابطه ۱۰ بسیار زمان بر می‌باشد.

برای رفع این مشکل از روش‌های تکراری نیمه‌همگرا (semi-convergence) استفاده شده است (Saad, 2003). در این روش‌ها علاوه بر اینکه وارون ماتریس حساب نمی‌شود به شرط انتخاب درست جهت حرکت در تکرارها، پاسخ منظم سازی شده به دست می‌آید. از این رو به روش‌های منظم‌کننده حین تکرار (regularizing iteration) هم مشهور هستند. در دسته‌ای از این روش‌ها به جای کمینه کردن رابطه ۹ مسئله $argmin_x\|b-x\|_2^2$ را حل می‌کنند ولی در عوض جواب را در یک زیر فضای کریلو (krylov subspace) تصویر می‌کنند که این زیر فضا نسبت به نرم هموار کننده انتخاب شده است. با انتخاب مناسب نرم هموار کننده می‌توان فضایی ساخت که جواب مورد نظر ما به خوبی روی پایه‌های آن تصویر شود. در این مقاله از روش PRRGRMS استفاده شده است (Hansen, 2011) که دقیقاً رابطه ۹ را حل می‌کند.

PRRGRMS یک روش تکراری است و جواب بهینه را در یکی از تکرارها می‌دهد. در این مقاله برای پیدا کردن جواب بهینه از روش L-curve استفاده شده است (Hansen, 1992). به این منظور مسئله نوفه‌زدایی با روش PRRGRMS را تا چند تکرار حل می‌کنیم. حال روش L-curve با رسم لگاریتم $\|b-x\|_2^2$ بر حسب لگاریتم $\|Dx\|_2^2$ و پیدا کردن بیشترین انحنای نمودار، بهترین جواب (شماره تکرار بهینه) را پیدا می‌کند.

مسئله بعد انتخاب تعداد فرکانس‌ها از مقطع f-x است که باید الگوریتم پیشنهادی روی آن‌ها اعمال شود. طبق رابطه ۱ فرکانس صفر (f=0) هیچ استاتیکی ندارد و نباید نوفه‌زدایی شود. حال اثر استاتیک در فرکانس‌های بالاتر با یک ضریب $2\pi f$، به فاز هر فرکانس اضافه می‌شود. از طرفی همانطور که گفتیم در حالت گسسته فرکانس فازوری‌ها (ω در $e^{i\omega n}$) در محدوده $[-\pi\ \pi]$ (یا $[0\ 2\pi]$) قرار می‌گیرند و هرچه خارج از این محدوده باشد به این بازه تعدیل داده می‌شود. در اثر این اتفاق شکستگی‌هایی در بخش حقیقی و موهومی آن فرکانس ایجاد می‌شود و در فرآیند وارون سازی به دلیل استفاده از نرم ۲ بر روی مدل شکستگی‌ها هموار می‌شوند (Aster et al., 2005) و دیگر روش پیشنهادی جوابگو نخواهد بود در بازگشت به حوزه t-x مقطع به هم می‌ریزد. بدیهی است هر چه فرکانس بالاتر رود احتمال این اتفاق بیشتر است. می‌توان با انتخاب تعدادی مناسب از فرکانس‌های پایین و نوفه‌زدایی و باز گرداندن آن‌ها به حوزه زمان، مقطعی با فرکانس پایین تر نسبت به داده اصلی که اثر استاتیک در آن کاهش یافته است ایجاد کرد. حال می‌توان از طریق محاسبه همبستگی بیشینه بین ردلرزه های متناظر داده اصلی و مقطع تصحیح شده، مقداری از استاتیک باقیمانده را تخمین زده و بر داده اعمال کرد و دوباره همین مراحل را تکرار کرده با این تفاوت که چون اثر استاتیک کاهش یافته می‌توان فرکانس‌های بیشتری را وارد الگوریتم کرد. چنانچه اثر فاز داده ($\angle\hat{d}(f,x)$) را در نظر نگیریم تعداد فرکانس‌هایی از حوزه f-x که در اثر استاتیک تعدیل نمی‌شوند از رابطه $Nf=\frac{Nfft}{2\,SB}$ به دست می‌آیند که Nf تعداد فرکانسهای تعدیل نیافته (فرکانس ۱ تا Nf)، Nfft به طول استفاده شده برای محاسبه فوریه سریع (FFT) و SB به حد استاتیک موجود در داده اشاره دارد. حال چون فاز خود داده هم وجود دارد باید تعداد فرکانس‌ها را با احتیاط بیشتری انتخاب کرد. در این مقاله تعداد فرکانس‌های مورد بررسی در مرحله اول $\frac{Nf}{8}$ بوده و در هر تکرار ۲ برابر می‌شود.



شکل ۲: الف) داده مصنوعی بعد از برانبارش ب) بعد از اعمال استاتیک بدون نوفه تصادفی ج) بعد از اعمال استاتیک با نوفه تصادفی SNR=-1.5 db د) قسمت ب بعد از تصحیح استاتیک با روش جدید ه) قسمت ج بعد از تصحیح استاتیک با روش جدید.

۳- اعمال روش بر داده مصنوعی

به منظور آزمودن روش جدید، داده‌های مصنوعی قبل از برانبارش (pre-stack) و بعد از برانبارش (post-stack) تولید شده و روش جدید روی آن‌ها اعمال شده است و نتایج در ادامه آمده است.

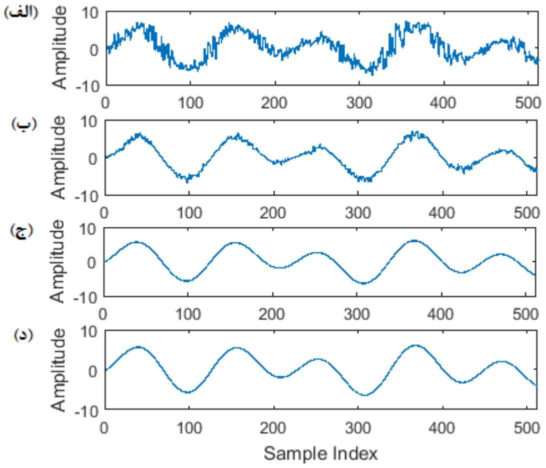
۳-۱- داده بعد از برانبارش

داده مصنوعی بعد از برانبارش استفاده شده در شکل ۲-الف آمده است. در این داده موجک استفاده شده ریکر با فرکانس غالب ۳۰ هرتز است و زمان نمونه برداری ۴ میلی ثانیه است. در ادامه مقداری استاتیک تصادفی در حد ۴۰ میلی ثانیه اضافه شده است. در شکل ۲-ب داده شکل ۲-الف بعد از اعمال استاتیک و بدون نوفه تصادفی نشان داده شده است. همچنین شکل ۲-ج ، داده شکل ۲-ب بعد از اعمال نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۱.۵- دسی بل می‌باشد. شکل ۲-ب بعد از تصحیح استاتیک در شکل ۲-د نشان داده شده است. برای سنجش کارایی روش جدید، از خطای تخمین استاتیک که به صورت نرم ۲ اختلاف استاتیک اعمالی با استاتیک تخمین زده شده می‌باشد، استفاده شده است. برای شکل ۲-د، خطای تخمین استاتیک صفر است و روش توانسته بدون هیچ خطایی اثر استاتیک را تخمین زده و آن را حذف کند. در شکل ۲-ه، داده شکل ۲-ج بعد از تصحیح استاتیک نشان داده شده است که خطای تخمین استاتیک آن ۱ است. در اینجا نوفه تصادفی موجود در مقطع کارایی روش را کاهش داده است.

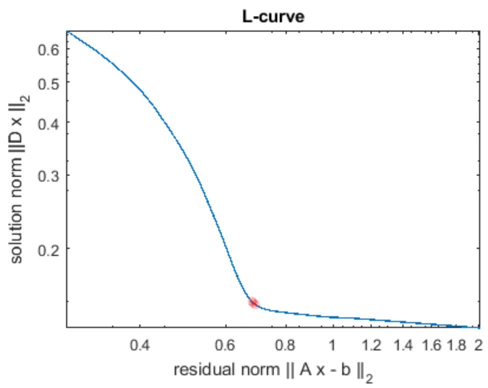
در شکل ۳-الف بخش حقیقی یک فرکانس خاص از مدل مصنوعی شکل ۲-ب نمایش داده شده است. در شکل ۳-ب نتیجه نوفه‌زدایی آن در اولین تکرار الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است همانطور که دیده می‌شود نوفه تا حدود زیادی کاهش یافته و یا به عبارت دیگر استاتیک مقطع کاهش یافته است. در شکل ۳-ج، نتیجه نوفه‌زدایی آن فرکانس در تکرار دوم آمده است. در شکل ۳-د همان فرکانس نمایش داده شده در ۳-الف را در حالت بدون استاتیک می‌بینیم که هدف نهایی ما رسیدن به آن است که در دومین تکرار الگوریتم جدید به آن رسیده‌ایم.

منحنی L-curve مربوط به انتخاب جواب ۳-ب در شکل ۴ آمده است و نقطه پیشنهادی روش L-curve با رنگ قرمز روی آن مشخص شده است.

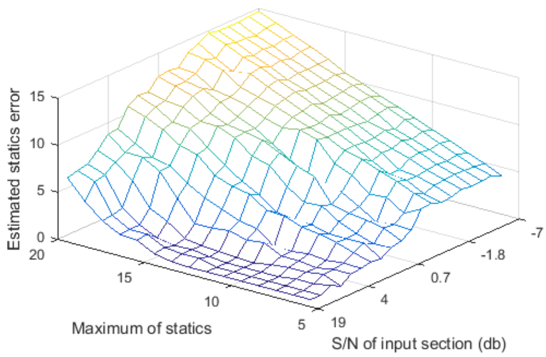
برای نشان دادن نحوه همگرایی روش جدید، مقادیر متفاوت نوفه تصادفی و مقادیر متفاوت جابجایی استاتیک به داده شکل ۲-الف اضافه شده است و هر بار روش جدید بر روی آن اعمال شده و خطای تخمین استاتیک اندازه گیری شده و در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل یک محور نشان دهنده مقدار استاتیک بر حسب تعداد نمونه (sample) بوده و محور دیگر نسبت سیگنال به نوفه مقطع را بر حسب دسی بل نشان می‌دهد. همانطور که می‌بینیم در حالت نوفه کم روش قادر است حتی استاتیک های زیاد را بدون خطا تخمین بزند ولی با افزایش نویز تصادفی خطای تخمین استاتیک بیشتر و بیشتر می‌شود.



شکل ۳: الف) بخش حقیقی یک فرکانس حوزه f-x مدل مصنوعی شکل ۲-ب. ب) بعد از نوفه‌زدایی در اولین تکرار الگوریتم تصحیح استاتیک جدید ج) در دومین تکرار د) در حالتی که شیفت استاتیک اعمال نشده باشد.



شکل ۴: منحنی L-curve مربوط به جواب‌های مختلف نوفه‌زدایی شکل ۳-الف و جواب پیشنهادی روش L-curve که با نقطه قرمز مشخص شده است و جواب مربوط به آن در شکل ۳-ب آمده است.



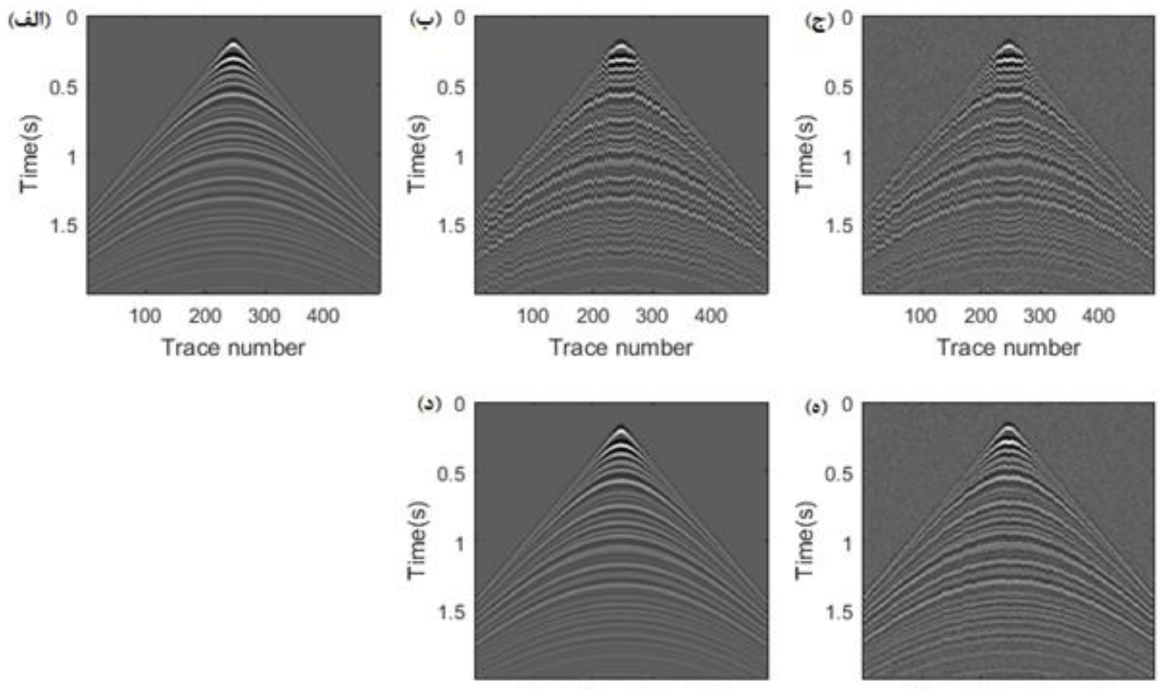
شکل ۵: خطای تخمین استاتیک در مقادیر متفاوت استاتیک و نوفه تصادفی.

۳-۲- داده قبل از برانبارش

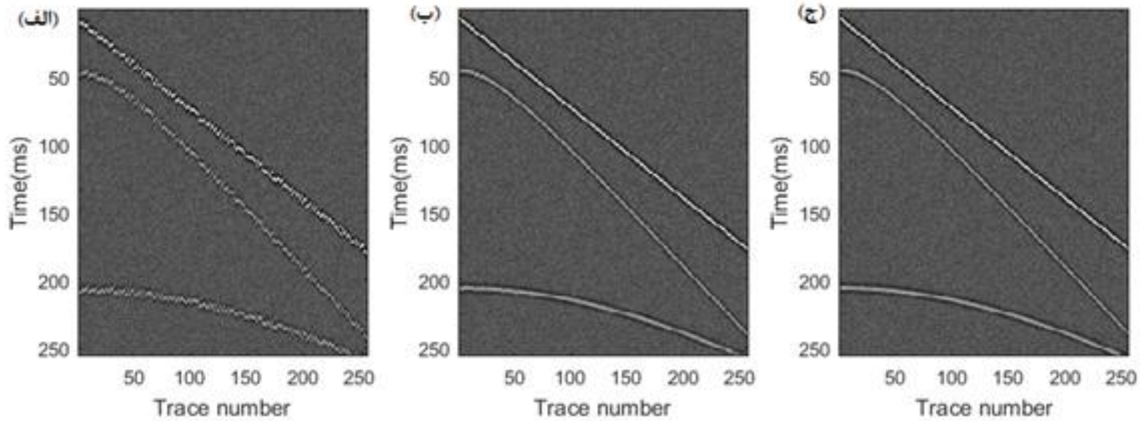
داده مصنوعی قبل از برانبارش استفاده شده در شکل ۶-الف آمده است. موجک استفاده شده ریکر با فرکانس غالب ۴۰ هرتز بوده و زمان نمونه‌برداری ۴ میلی ثانیه است. در ادامه مقداری استاتیک تصادفی با ماکزیمم ۴۰ میلی ثانیه اضافه شده است. در شکل ۶-ب، داده شکل ۶-الف بعد از اعمال استاتیک نشان داده شده است. همچنین شکل ۶-ج، داده شکل ۶-ب را بعد اعمال نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه صفر دسی بل نشان می‌دهد. در شکل ۶-د تصحیح استاتیک شکل ۶-ب نشان داده شده است که خطای تخمین استاتیک آن صفر است و روش جدید توانسته به طور کامل استاتیک اعمال شده را تخمین زده و اثر آن را حذف کند. در شکل ۶-ه تصحیح استاتیک شکل ۶-ج نشان داده شده است که مقدار خطا تخمین استاتیک آن ۲.۴۴ است و نوفه تصادفی موجود در مقطع کارایی روش را کاهش داده است. به منظور مقایسه روش پیشنهادی با روش تصحیح استاتیک باقیمانده از طریق بیشینه کردن تنکی (Gholami, 2013) داده مصنوعی قبل از برانبارش دیگری تولید شد (شکل ۷-الف) در این داده موجک استفاده شده ریکر با فرکانس غالب ۴۰ هرتز بوده و زمان نمونه برداری ۴ میلی ثانیه است که مقداری استاتیک تصادفی با ماکزیمم ۲۰ میلی ثانیه به آن اضافه شده است. در شکل ۷-ب نتیجه اعمال روش Gholami (2013) نشان داده شده است. همچنین نتیجه روش جدید در شکل ۷-ج آمده است. همانطور که دیده می‌شود هر دو روش توانایی خوبی در تخمین مقادیر استاتیک دارند. درست است که روش جدید و روش Gholami (2013) تقریباً دید نزدیکی به مسئله تصحیح استاتیک باقیمانده دارند. روش Gholami (2013) به دنبال کاهش یا حذف مقادیر استاتیک از طریق کاهش مرتبه است حال آنکه در روش جدید به این مسئله به دید یک مسئله نوفه‌زدایی نگاه می‌شود.

۴- اعمال روش بر داده واقعی

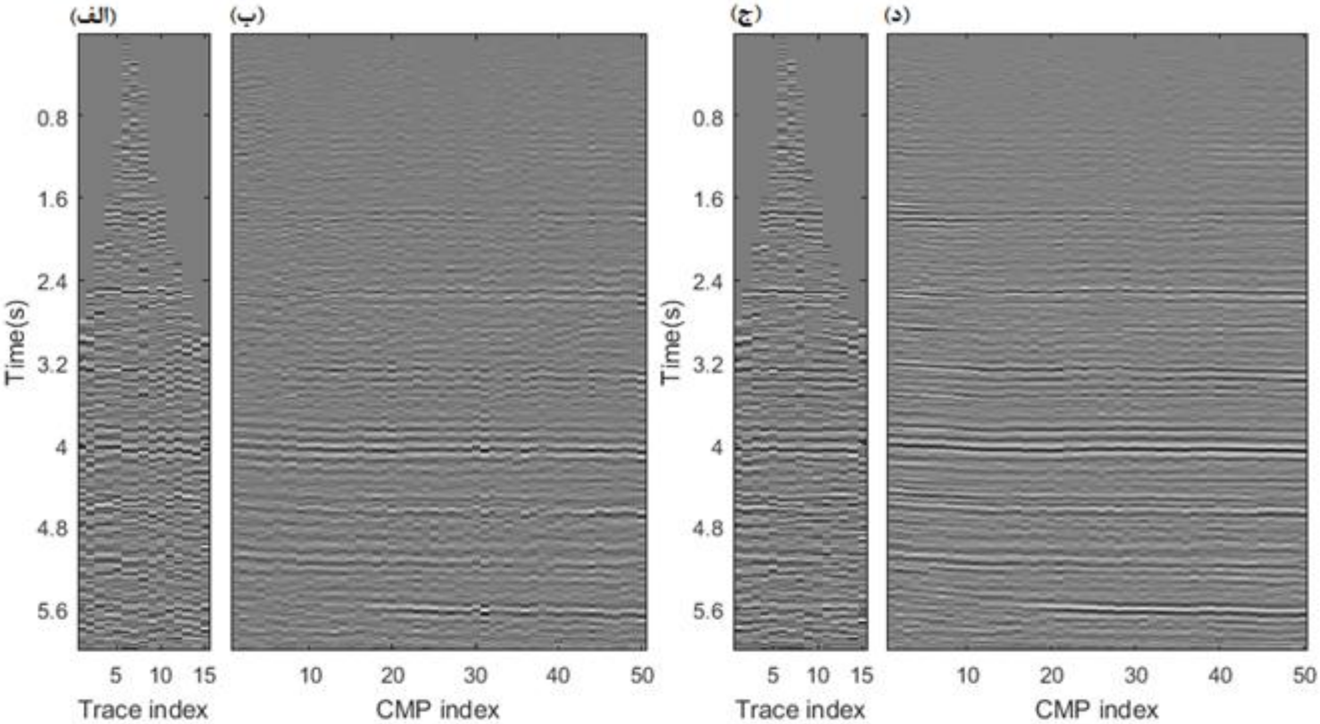
به منظور آزمودن روش جدید، تعدادی رکورد نقطه میانی مشترک (CMP) انتخاب شده است که پردازشهای اولیه از جمله تصحیح دامنه، اعمال فیلتر میان گذر، تصحیح برونراند نرمال (NMO) و حذف کشیدگی انجام شده است. در مرحله بعد تصحیح استاتیک باقیمانده را بر هرکدام از CMP ها اعمال کرده و برانبارش را انجام می‌دهیم. در شکل ۸-الف یکی از CMP ها قبل از اعمال تصحیح استاتیک نشان داده شده است. در شکل ۸-ب حاصل برانبارش این CMP ها بدون تصحیح استاتیک آمده است. در شکل ۸-ج، CMP شکل ۸-الف بعد از تصحیح استاتیک با روش پیشنهادی آورده شده که افزایش همدوسی پدیده ها در آن مشهود است. در شکل ۸-د حاصل برانبارش CMP ها بعد از تصحیح استاتیک آمده است که بخوبی تقویت بازتابنده ها و افزایش تفکیک پذیری و همدوسی پدیده ها در آن مشخص است.



شکل ۶: الف) داده مصنوعی قبل از برانبارش – ب) بعد از اعمال ایستا – ج) بعد از اعمال نوفه تصادفی SNR=0 db – د) قسمت ب بعد از تصحیح ایستا با روش جدید – ه) قسمت ج بعد از تصحیح ایستا با روش جدید.



شکل ۷: مقایسه روش پیشنهادی با روش Gholami(2013) الف) داده مصنوعی قبل از برانبارش با اثر استاتیک و نوفه تصادفی SNR=0 db ب) بعد از تصحیح استاتیک با روش Gholami(2013) ج) بعد از تصحیح ایستا با روش جدید.



شکل ۸: الف) یک CMP داده واقعی قبل از تصحیح استاتیک ب) مقطع حاصل برانبارش CMP های مختلف قبل از تصحیح استاتیک ج) CMP موجود در شکل ۸-الف بعد از تصحیح استاتیک د) حاصل برانبارش CMP های مختلف بعد از تصحیح استاتیک.

۵- نتیجه گیری

روش‌های مرسوم تصحیح استاتیک باقیمانده عموماً براساس وارون سازی زمان رسید و تجزیه آن بر حسب اثرهای مختلف و یا تلاش برای بیشینه

کردن توان برانبارش کار می‌کنند. در این مقاله به مسئله تصحیح استاتیک باقیمانده به دید یک نوفه‌زدایی در فضای f-x نگاه شد. در حالت بدون استاتیک بخش حقیقی و موهومی هر فرکانس در فضای f-x یک سیگنال تقریباً هموار است که می‌تواند شامل شکستگی‌هایی باشد. چنانچه استاتیک موجود در مقطع تصادفی باشد می‌توان گفت که به بخش حقیقی و موهومی هر فرکانس نوفه تصادفی که در اثر استاتیک است اضافه شده است. با نوفه‌زدایی بخش حقیقی و موهومی هر فرکانس می‌توان مقطعی که استاتیک آن کاهش یافته تولید کرد و از محاسبه محل بیشینه همبستگی آن با مقطع اصلی می‌توان مقدار تصحیح استاتیک را محاسبه کرده و روی داده اعمال کرد. با تکرار این الگوریتم اثر استاتیک از بین رفته و یا خیلی کاهش می‌یابد. به منظور کاهش حجم محاسبات برای فرآیند نوفه‌زدایی از یک روش منظم‌سازی حین تکرار استفاده شده که علاوه بر کاهش حجم محاسبات، جواب منظم‌سازی شده را حین تکرارها تولید

می‌کند. از اعمال روش بر داده مصنوعی و داده واقعی نتایج خوبی حاصل شد و توانست در مقادیر زیاد استاتیک موجود در داده هم جواب خوبی تولید کند. همچنین در الگوریتم پیشنهادی به سطح نوفه موجود در داده حساس است و با بالارفتن مقدار نوفه کارآیی الگوریتم کاهش می‌یابد. از طرفی هرچه شکستی های موجود در بخش حقیقی و موهومی هر فرکانس مقطع حوزه f-x داده در حالت بدون استاتیک کمتر باشد کارایی روش بهتر است.

۶- منابع

Aster, R., Borchers, B. and Thurber, C., 2005, Parameter Estimation and Inverse Problems, Elsevier, New York.

Gholami, A., 2013, Residual statics estimation by sparsity maximization, Geophysics, 78 (1), 11-19.

Hansen, P.C., 1992, Analysis of discrete ill-posed problems by means of the L-curve, SIAM Rev, 34 (4), 561-580.

Hansen, P.C., 2011, Image deblurring with krylov subspace methods, Thirty-Sixth Conference of the DutchFlemish Numerical Analysis Communities.

Hatherly, P., Urosevic, M., Lambourne, A. and Evans, B.J., 1994, A simple approach to calculating refraction statics corrections, Geophysics, 59, 156-160.

Ronen, J. and Claerbout, J.F., 1985, Surface-consistent residual statics estimation by stack-power maximization, Geophysics, 50, 2759-2767.

Saad, Y., 2003, Iterative Methods for Sparse Linear Systems, SIAM, 2nd edition.

Sheriff, R.E. and Geldart, L.P., 1982, Exploration Seismology, Cambridge University Press.

Taner, M.T., Koehler, F. and Alhilali, K.A., 1974, Estimation and correction of near-surface time anomalies, Geophysics, 39, 441-463.

Wiggins, R.A., Larner, K.L. and Wisecup, R.D., 1976, Residual statics analysis as a general inverse problem, Geophysics, 41, 922-938.

Yilmaz, O. 1987, Seismic Data Processing, SEG.

Shahrood University of Technology

JOURNAL OF RESEARCH ON APPLIED GEOPHYSICS

(JRAG)

2016, VOL 2, NO 1

(DOI): 10.22044/JRAG.2016.652

Iranian Geophysical Society- 1975

Residual static correction using denoising in f-x domain

Seyed Hossein Seyed Aghamiry[1*] and Ali Gholami[2]

1- Ph.D. Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 5 March 2016; Accepted: 1 May 2016

Corresponding author: h.aghamiry@ut.ac.ir

Keywords

Static Correction
Residual Statics Correction
Denoising
Krylov Subspace
Regularizing Iteration Methods

Extended Abstract

Summary

Estimation of residual statics in complex areas is one of the main challenging problems in seismic data processing. It has been shown that residual statics show itself as random noise in the frequency domain, and hence, can be treated as a denoising problem. Here, we develop an f-x domain denoising algorithm to attenuate the residual statics in seismic data. A subset of low frequencies are selected and denoised individually via a Tikhonov's type filter. The denoised section is cross-correlated trace-by-trace with the noisy one, and then, the maximum shifts are picked and applied to reduce the statics. This procedure is repeated until convergence is accomplished. Numerical tests show good performance of the proposed algorithm to compensate static effects on synthetic and field seismic data.

Introduction

Static corrections are applied to compensate seismic data for the complex interaction between the incident wavefield and the near surface irregularities. Several methods have been developed in the literature for this purpose including traveltime inversion based methods and stack-power maximization methods. Recently, a new method has been proposed for residual static correction based on non-linear sparsity maximization. Here, we treat the problem by noise reduction tools in the f-x domain.

Methodology and Approaches

Statics shift traces in time domain, so it changes the phase in frequency domain. A scaled version of statics vector adds to each frequency in the f-x domain, so the real and imaginary parts of each frequency in the f-x domain can be considered as noisy versions of the corresponding parts in the clean signal. The problem is formulated as b=x+n where b is a noisy mono-frequency signal, x is the clean signal, and n is some random noise.
Therefore, we consider the following cost function:

$$\arg_x \min \|b - x\|_2^2 + \|Dx\|_2^2$$

Where l is the regularization parameter and D is the regularization operator. If we solve this problem using direct methods, it can be time consuming. In this paper, we use a Krylov subspace method for solving it. Krylov subspace methods are often ideally suited for this task: their iterative nature is a natural way to handle large-scale problems, and the underlying Krylov subspace provides a convenient mechanism to regularize the problem by projecting it onto a low dimensional "signal subspace" adapted to the particular problem. In this paper, we use PRRGMRS, a Krylov subspace method. We select some low frequencies of the f-x domain and denoise them and take an inverse f-x transform. Then, we calculate statics using time shifts via cross-correlation. This procedure is repeated until convergence is accomplished.

Results and Conclusions

We have proposed a new method for residual static correction based on denoising tools in the f-x domain. It has been shown that residual static shifts show itself as random fluctuations (like the effect of random noise) on data spectrum in the frequency domain. Therefore, these effects can be compensated by proper denoising tools in the f-x domain. An efficient algorithm has been proposed to achieve this goal. Applications of this algorithm on synthetic and real data confirmed high performance of the presented algorithm.