فیلتر وارون Q با استفاده از فیلترهای خطی غیرپایا

ایمان گنجی[۱] و حمیدرضا سیاهکوهی[۲]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
[۲] استادیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

اصول لرزه‌نگاری بر مبنای انتشار امواج لرزه‌ای در محیط کشسان است. این امواج هنگام انتشار در محیط زمین واقعی تضعیف می‌شوند. تضعیف امواج تابع فرکانس بوده و باعث افت فرکانس غالب و به تبع آن موجب از بین رفتن قدرت تفکیک در مقاطع لرزه‌ای می‌گردد. یکی از عوامل اصلی در تضعیف امواج لرزه‌ای، پدیده جذب می‌باشد. در این مقاله با بکارگیری ایده فیلترهای خطی غیرپایا، راه کاری برای جبران اثر این پدیده از داده‌های لرزه‌ای معرفی می‌شود. روش مورد نظر در این مطالعه موسوم به PSO بوده و برپایه عملگرهای شبه دیفرانسیلی در حوزه زمان ـ فرکانس است. نتایج نشان می‌دهند که بهتر است قبل از اعمال روش، تا حد امکان نوفه ها به کمک فیلترهای مناسب حذف شوند، زیرا در فرایند جبران اثر Q، همراه با تقویت سیگنال، نوفه‌ها نیز (بخصوص در بخش انتهایی ردلرزه) تقویت شده و باعث محو شدن سیگنالهای اصلی می‌شوند.

Abstract

Seismic waves travelling through inelastic media are attenuated. Absorption is usually quantified through the quality factor *Q*.The energy attenuation and phase distortion caused by the absorbing medium can be removed by inverse *Q* filtering. In this paper based on non-stationary linear filters we introduce a method to compensate the attenuation. Our method in in time frequency domain and usually called pseudo-differential operators. We applied the method on both real and synthetic seismic data.

مقدمه

تضعیف انرژی لرزه‌ای به وسیله زمین به هنگام انتشار موج لرزه‌ای از مشکلات اساسی در مطالعه ساختار زیرسطحی به روش لرزه‌ای می‌باشد. معمولا تضعیف انرژی لرزه‌ای در اثر دو پدیده رخ می‌دهد: پدیده گسترش هندسی و پدیده جذب. آنچه در این مقاله مد نظر است تضعیف انرژی لرزه‌ای بوسیله پدیده جذب می‌باشد. عدم جبران اثر جذب هنگام پردازش داده‌های لرزه‌ای منجر به از دست رفتن کیفیت مقاطع لرزه‌نگاری و قدرت تفکیک آنها خواهد شد. سوالی که در اینجا مطرح است، اینست که چگونه می‌توان اثر جذب را از روی داده‌های لرزه‌ای حذف کرد، یا به عبارت دیگر چگونه می‌توان موجک را پایا نمود؟ معمولا در منابع این فرآیند تحت عنوان فیلتر وارون Q نامیده می‌شود. هیل در سال ۱۹۸۰ برای بدست آوردن لرزه نگاشت بدون اثر جذب، از معکوس ماتریس جذب (Q) استفاده کرد و برای این منظور یک ماتریس کمکی نیز بکار برد. در روش وانگ (۱۹۹۱) اساس کار بر مبنای مهاجرت و حل معکوس معادله موج است. مارگریو در سال ۱۹۹۸ روش PSO را با استفاده از انتگرالهای فوریه غیرپایای تعمیم یافته یا عملگرهای شبه‌دیفرانسیلی در فیلتر وارون Q مورد استفاده قرار داد. اساس کار این مطالعه نتایج کارهای تئوری مارگریو (۱۹۹۸) برای مطالعه مدلهای زمین با Q ثابت است.

روابط حوزه زمان ـ فرکانس

همامیخت غیر پایا در حوزه زمان بصورت زیر است (مارگریو، ۱۹۹۸):

$$g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t-\tau,\tau)h(\tau)d\tau \qquad (۱)$$

روابط همامیخت غیر پایا را می‌توان در حوزه (f,τ) بصورت زیر بیان کرد:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha(f,\tau)h(\tau)e^{-2\pi i f\tau}d\tau \qquad (۲)$$

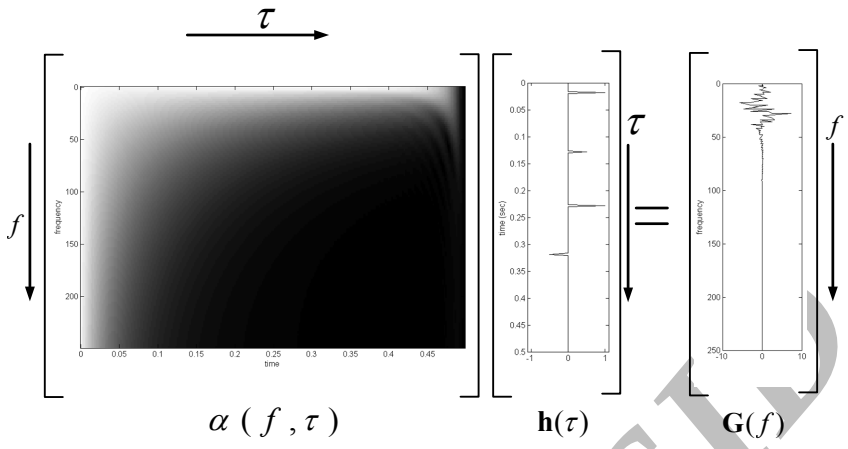
که در آن $\alpha(f,\tau)$ تابع انتقال غیر پایا بوده و بصورت زیر بیان می‌شود:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\alpha(f,\tau)=\int_{-\infty}^{+\infty} a(t,\tau)e^{-2\pi ift}dt \qquad (۳)$$

شکل ۱ نمایشی از مدل همامیخت غیر پایا در حوزه زمان ـ فرکانس برای ساخت یک ردلرزه هستند.



شکل۱. مدل همامیخت غیرپایا در حوزهٔ زمان ـ فرکانس.

فیلتر بر اساس عملگرهای شبه دیفرانسیلی (روش PSO)

با توجه به ویژگی تابع انتقال در رابطه همامیخت غیر پایا در حوزه زمان ـ فرکانس (رابطه ۲)، اگر ورودی در حوزه فرکانس باشد H(f)، خواهیم داشت:

$$\tilde{g}(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}\alpha(f,t)H(f)e^{ift}df \qquad (۴)$$

که در آن خروجی $\tilde{g}(t)$ در حوزه زمان است. در هر دو تعریف (روابط ۲ و ۴)، تابع انتقال در حوزه زمان ـ فرکانس $\alpha(f,\tau)$ خصوصیات اساسی فیلتر غیر پایا را در بر خواهد داشت. عملگرهای فیلتر تعریف شده توسط این دو رابطه، به طبقه عملگرهایی که عملگرهای شبه‌دیفرانسیلی نامیده می‌شوند تعلق دارند (سنت ریموند، ۱۹۹۱) و از بسط تحلیل فوریه به موارد ناهمگن نتیجه می‌شود. در اینجا $\alpha(f,\tau)$ نماد عملگر شبه دیفرانسیلی می‌باشد. این روابط برای فیلتر غیر پایا و بطور خاص برای مدل مستقیم و فیلتر وارون Q، کارایی بیشتری دارند.

بررسی کارآیی فیلتر روی داده‌های مصنوعی

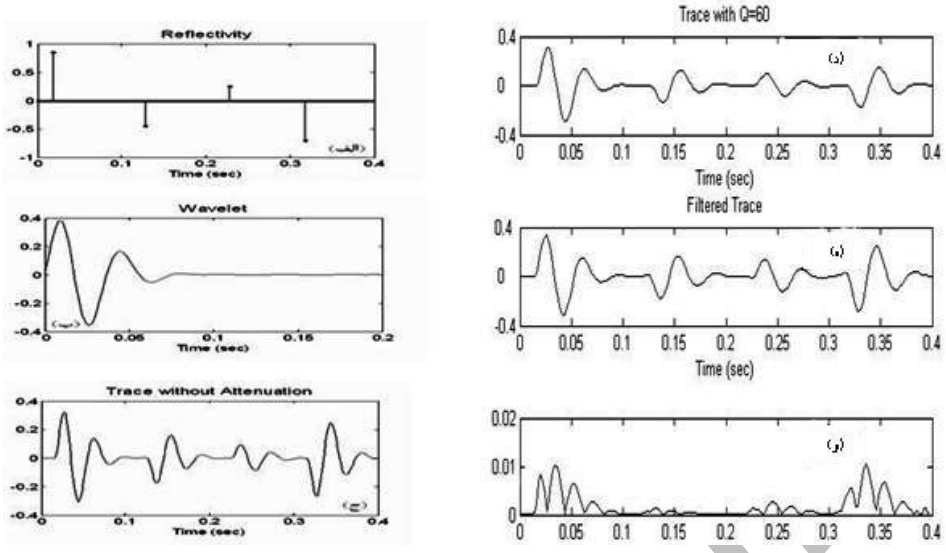
در این قسمت از مدل زمین با چهار بازتابنده که زمان سیر دوطرفه آنها به ترتیب ۱۰، ۶۵، ۱۱۵ و ۱۶۰ میلی ثانیه است، برای ایجاد ردلرزه مصنوعی با موجک فاز کمینه و فاصله نمونه برداری ۲ میلی ثانیه استفاده شد (شکل ۲). تابع تبدیل موجک بکار رفته به صورت زیر می‌باشد.

$$V(z)=\frac{0.0378417z^2-0.0306517}{z^4-3.4016497z^3+4.5113732z^2-2.7553363z^1+0.6561} \qquad (۵)$$

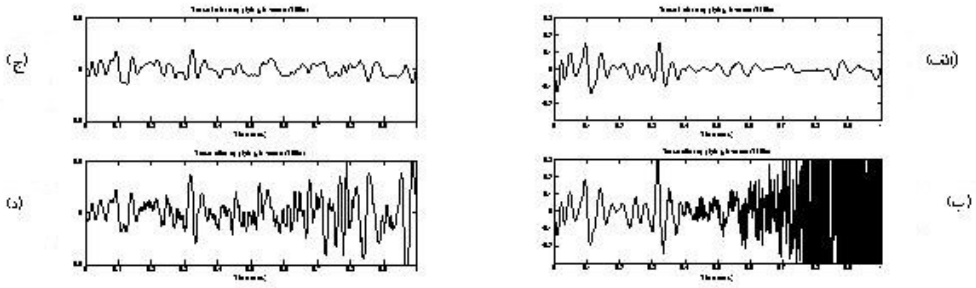
نتایج حاصل اعمال فیلتر وارون Q روی ردلرزه در شکل ۲-د برای حالت Q=۶۰ در شکل ۲-هـ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، فیلتر افت دامنه بواسطه جذب را جبران کرده و اختلاف ردلرزه بازسازی شده توسط فیلتر و ردلرزه اولیه (شکل ۲-ج) در شکل ۲-ز نشان داده شده است. محاسبات شایان ذکر است که در صورت وجود نوفه، آنها همزمان با تقویت سیگنالها، تقویت خواهند یافت.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. (الف) سری بازتاب مصنوعی. (ب) موجک فاز حداقل بکار رفته. (ج) ردلرزهٔ مصنوعی بدون میرایی. (د) ردلرزهٔ مصنوعی با فرض فاکتور کیفیت ۶۰ برای لایه ها در مدل زمین (هـ) ردلرزه فیلتر شده به وسیلهٔ PSO. (ز) خطای مطلق میان ردلرزهٔ واقعی (شکل ۲- ج) و ردلرزه فیلتر شده.



شکل ۳. ردلرزه واقعی الف) قبل و ب) بعد از اعمال فیلتر وارون. ردلرزه واقعی ج) قبل و د) بعد از اعمال فیلتر وارون با پاسخ فرکانسی تعدیل شده.

کارآیی این راه حل برای جبران تقویت بیش از اندازه را روی داده واقعی امتحان نمودیم. علت انتخاب داده واقعی برای این منظور این بود که داده واقعی همیشه همراه با نوفه است و معمولا نوفه‌های موجود در انتهای ردلرزه همچون سیگنالها متحمل افت دامنه نمی‌شوند و اثر تقویت بیش از اندازه بوضوح دیده خواهد شد. شکل ۳ ردلرزه واقعی و بازسازی شده را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت، دامنه در زمانهای انتهایی رکورد بیش از اندازه تقویت شده‌اند. مقدار Q برای ردلرزه واقعی از روش پیشنهاد شده توسط ژانگ (۲۰۰۲) استفاده شده است. حال با استفاده از آستانه بیشینه طیف دامنه ۱۰۰ و اعمال آن روی پاسخ فرکانسی فیلتر، ردلرزه بازسازی شده با استفاده از فیلتر وارون طراحی شده در شکل ۳-د مشاهده می‌شود. مقایسهٔ شکل‌های ۳-ب و ۳-د حاکی از کارکرد قابل قبول آستانه انتخاب شده است.

نتیجه گیری

در این مطالعه روشی برای جبران افت دامنه بواسطه جذب براساس عملگرهای شبه‌دیفرانسیلی معرفی و مبانی نظری آنها ارایه گردید. کارآیی فیلتر روی ردلرزه‌های مصنوعی و واقعی تست شد. از آنجا که فیلتر وارون Q، یک فیلتر متغیر با زمان بوده معمولا رسیدهای دیرتر در ردلرزه بیشتر تقویت می‌شوند. نوفه‌های محیطی موجود در ردلرزه نیز همزمان با سیگنالها توسط فیلتر تقویت خواهند شد. میزان تقویت نوفه‌ها در زمانهای انتهایی ردلرزه بیشتر خواهد بود که باعث محو شدن سیگنالها خواهد شد. نتایج نشان می دهد تا حد امکان می‌بایست

Archive of SID

www.SID.ir

قبل از اعمال فیلتر وارون Q، نوفه‌ها را از ردلرزه تضعیف نمود. در این مطالعه برای رفع این مشکل انتخاب آستانه برای بیشینه دامنه در پاسخ فرکانسی فیلتر معرفی و کارآیی آن نشان داده شد.

منابع

Hale, D., 1981, An Inverse-*Q* filter: SEP Report 26.

Margrave, G. F., 1998, Theory of nonstationary linear filtering in Fourier domain with application to time-variant filtering: Geophysics, **63**, 244-259.

Saint-reymond, X., 1991, Elementary introduction to the theory of pseudodifferential operators: CRC Press.

Wang, Y., 2002, A stable and efficient approach of inverse-*Q* filtering: Geophysics, **67**, 657-663.

Zhang, C., Kelman Technologies Inc., and Ulrych, T., 2002, Estimation of Quality Factors - An Analytical Approach: CSEG.

Archive of SID

www.SID.ir