

نشانگر لرزه‌ای تک‌بسامد به دست آمده از روش‌های تبدیل موجک پیوسته و تعقیب تطابق

مصطفی یاری^۱، رضا محبیان^۱ و محمدعلی ریاحی^{۲*}

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲دانشیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۷، دسترسی برخط: ۱۳۹۰/۱۲/۱)

چکیده

تبدیل فوریه امکان بررسی محتوای بسامدی سیگنال‌های پایا را فراهم می‌کند، اما، برای سیگنال‌های ناپایا که محتوای بسامدی آنها با زمان تغییر می‌کند تبدیل یک‌بُعدی به فضای بسامد کافی نیست. یکی از روش‌هایی که برای تحلیل یک سیگنال ناپایا مورد استفاده قرار می‌گیرد روش تبدیل موجک پیوسته است. در این روش یک طیف زمان-مقیاس به طیف زمان-بسامد تبدیل می‌شود که این امر باعث ایجاد مجموعه‌ای از تضعیف‌های ناخواسته روی مقطع لرزه‌ای خواهد شد. برای حل این مشکل از روش تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد استفاده می‌شود که طیف زمان-بسامد با تفکیک‌پذیری بهتری به دست خواهد داد. روش تعقیب تطابق نیز به علت بررسی هر جز از سیگنال و استفاده از الگوریتم تکرار، یک نقشه زمان-بسامد با تفکیک‌پذیری زمان-بسامدی بهتر نسبت به دو روش پیش‌گفته به دست می‌دهد. هدف از این تحقیق، به‌کارگیری روش‌های تحلیل زمان-بسامد برای آشکارسازی سایه‌های کم‌بسامد ناشی از مخازن هیدروکربن است.

واژه‌های کلیدی: سیگنال‌های ناپایا، طیف زمان-بسامد، تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد، سایه‌های کم‌بسامد، تعقیب تطابق، تفکیک‌پذیری زمان-بسامدی

Single-frequency seismic attribute obtained from continuous-wavelet transform and matching pursuit methods

Mostafa Yari¹, Reza Mohebian¹ and Mohammad Ali Riahi^{1*}

¹Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 06 December 2010, accepted: 28 June 2011, available online: 20 February 2012)

Summary

Seismic data, being non-stationary in nature, have varying frequency content across time. Time-frequency decomposition (also called spectral decomposition) of a seismic signal aims to characterize the time-dependent frequency response of subsurface rocks and reservoirs. Castagna et al. (2003) use matching-pursuit decomposition for instantaneous spectral analysis to detect low-frequency shadows beneath hydrocarbon reservoirs. A case history of using spectral decomposition and coherency to interpret incised valleys is shown by Peyton et al. (1998). Partyka et al. (1999) use windowed spectral analysis to

*Corresponding author:

mariahi@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

produce discrete-frequency energy cubes for applications in reservoir characterization. Continuous wavelet transform (CWT) was introduced by Morlet et al. (1982). In CWT, time frequency atoms are chosen in such a way that their time support changes for different frequencies according to Heisenberg's uncertainty principle (Mallat, 1999; Daubechies, 1992). This study used the Morlet wavelet, which provides an easy interpretation from scale to frequency.

Time-frequency CWT (TFCWT; Sinha, 2005) analysis provides high-frequency resolution at low frequencies and high time resolution at high frequencies. This optimal time-frequency resolution property of the TFCWT makes it useful in seismic data analysis. Computing the TFCWT in the Fourier domain is a fast process. Furthermore, TFCWT is an invertible process such that the inverse Fourier transform of the time summation of the TFCWT reconstructs the original signal, provided the inverse wavelet transform exists. The purposes of this study require only the forward transform; reproducibility is not a strict requirement. Seismic data analysts sometimes observe low-frequency shadows in association with hydrocarbon reservoirs. The shadow is probably caused by attenuation of high-frequency energy in the reservoir itself.

Matching pursuit decomposition involves the cross-correlation of a wavelet dictionary against the seismic trace. The projection of the best correlating wavelet on the seismic trace is then subtracted from that trace. The wavelet dictionary is then cross-correlated against the residual, and again the best correlating wavelet projection is subtracted. The process is repeated iteratively until the energy remaining in the residual falls below some acceptable threshold. As long as the wavelet dictionary meets simple admissibility conditions, the process will converge. Most importantly, the wavelets need not be orthogonal. The output of the process is a list of wavelets with their respective arrival times and amplitudes for each seismic trace. The inverse transform is accomplished simply by summing the wavelet list and the residual, thus reconstructing the original trace. The wavelet list is readily converted to a time-frequency analysis by superposition of the wavelet frequency spectra.

The CWT dilates and compresses wavelets to provide a time-scale spectrum instead of a time-frequency spectrum. Converting a scalogram into a time-frequency spectrum using the center frequency of a scale gives an erroneous attenuation in the spectrum. The TFCWT overcomes this problem and gives a more robust technique of time-frequency localization. Since TFCWT is fundamentally derived from the continuous-wavelet transform, wavelet dilation and compression effectively provides the optimal window length, depending upon the frequency content of the signal. Thus, it eliminates the subjective choice of a window length and provides an optimal time-frequency spectrum with an absence of erroneous attenuation effect for a non-stationary signal. It has high-frequency resolution at low frequencies and high time resolution at high frequencies, whereas the spectrogram has fixed time-frequency resolution throughout. Matching Pursuit Decomposition (MPD) requires no windowing of the seismic data and thus has the best combination of temporal and spectral resolution in comparison to TFCWT and the continuous wavelet transform. Most hydrocarbon reservoirs have a seismic response, but sometimes this is expressed only in certain spectral ranges, hidden within the broadband data. Gas-bearing layers have been an interesting area of research for geophysicists, especially spectral decomposition researchers, since they have a very specific spectral attribute: low-frequency gas shadows.

This paper presents an investigation of the application and efficiency of Time-Frequency Continuous Wavelet Transform and Matching Pursuit method in time-frequency analysis of seismic sections to delineate and detect low-frequency gas shadows on real data from an Iranian gas reservoir. The results from the MPD are compared with

those of the CWT and TFCWT applying single frequency seismic sections at frequencies of 15 Hz and 25 Hz with the expectation that low-frequency gas shadows will be observable in this range of frequencies.

Key words: Time-frequency resolution, time-frequency continuous wavelet transform, matching pursuit, time-frequency spectrum, non-stationary signal, low-frequency shadow

۱ مقدمه

بسامدهای میانی یک مقیاس باعث ایجاد خطا در طیف به دست آمده می‌شود. برای برطرف کردن این مشکل از تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد (TFCWT) استفاده می‌شود که ابتدا سینها و همکارانش در ۲۰۰۵ آن را معرفی کردند. در این روش با گرفتن تبدیل فوریه از معکوس تبدیل موجک پیوسته می‌توان یک نقشه زمان-مقیاس را به نقشه زمان-بسامد تبدیل کرد که نقشه زمان-بسامد حاصل شده از این روش دارای تفکیک پذیری بسامدی خوب برای بسامدهای کم و تفکیک پذیری زمانی خوب برای بسامدهای زیاد است.

در این مقاله علاوه بر روش‌های اشاره شده، روش دیگری که با عنوان تعقیب تطابق (MPD) شناخته می‌شود (کاستاگنا و همکاران، ۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفته است که الگوریتم آن را نخستین بار مالات و ژانگ (۱۹۹۳) عرضه کردند. این روش برای تشخیص لایه‌های نازک (مارفورت و کرلین، ۲۰۰۱) شناسایی کانال‌ها (لیو، ۲۰۰۶) و تعیین محدوده مخازن هیدروکربنی (وانگ، ۲۰۰۷)، مورد استفاده قرار گرفت. این روش علاوه بر حفظ تفکیک بسامدی زیاد در این تحقیق، باعث بهبود تفکیک پذیری سیگنال در حوزه زمان شد.

۲ تبدیل موجک پیوسته

در تبدیل فوریه پنجره‌ای یا تبدیل فوریه زمان کوتاه، یک نقشه زمان-بسامد به نام طیف‌نما به دست آورده می‌شود (ریول و فلاندرین، ۱۹۹۲؛ ریول و وترلی، ۱۹۹۱) که به طول پنجره وابسته است. انتخاب طول پنجره بهینه نیز به داده‌های مورد بررسی بستگی دارد. بنابراین پردازش و

در تحلیل داده‌های لرزه‌ای، طیف زمان-بسامد داده‌های لرزه‌ای در بسیاری از زمینه‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی کاربرد فراوانی را به همراه داشته است. پدیده‌های زمین‌شناسی عامل تولید بسیاری از بی‌هنجاری‌های بسامدی در داده‌های لرزه‌ای هستند که از آن جمله می‌توان به تضعیف، جذب، سایه‌های کم‌بسامد مخازن هیدروکربن و تیونینگ یا هم‌کوکی اشاره کرد (تانر و همکاران، ۱۹۷۷؛ چن و سیدنی، ۱۹۹۷؛ بارنز، ۱۹۹۳؛ وانگ، ۲۰۰۷).

اولین روشی که برای به‌دست آوردن طیف زمان-بسامد یک سیگنال لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفت، روش تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT) بود که در این تبدیل فوریه روی پنجره‌های زمانی کوچکی صورت می‌گیرد (مالات، ۱۹۹۹). در این روش از یک پنجره زمانی از پیش تعیین شده استفاده می‌شود که این امر باعث تفکیک پذیری زمان-بسامد ثابت می‌شود. به دلیل طبیعت ناپایای سیگنال‌ها که در آنها بسامد با زمان تغییر می‌کند، به یک پنجره متغیر با زمان نیاز است (چاکرابتی و اوکایا، ۱۹۹۵). این مشکل با معرفی تبدیل موجک پیوسته (CWT) بر طرف شد (مورلت و همکاران، ۱۹۸۲؛ گوپیلا و همکاران، ۱۹۸۵). این روش از خاصیت تغییر مقیاس و جابه‌جایی موجک استفاده می‌کند و با اتساع و فشرده کردن موجک، به جای طیف زمان-بسامد، طیف زمان-مقیاس یا مقیاس‌نگار (Scalogram) سیگنال مورد نظر را به دست می‌آورد (ریول و وترلی، ۱۹۹۱). تبدیل مقیاس‌نگار به طیف زمان-بسامد با استفاده از

است. با اتساع و انتقال این موجک $\psi(t)$ طبق رابطه (۱) یک خانواده از موجک‌ها تولید می‌شود:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (1)$$

CWT به منزله حاصل ضرب داخلی خانواده موجک‌ها

$\psi_{s,\tau}(t)$ با سیگنال $f(t)$ این گونه تعریف می‌شود:

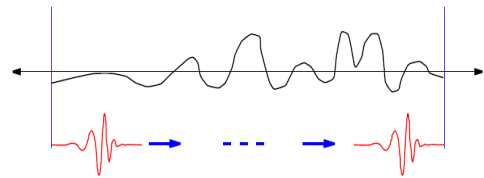
$$F_W(s, \tau) = \langle f(t), \psi_{s,\tau}(t) \rangle \\ = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (2)$$

که در آن، $\psi * \psi$ مزدوج مختلط ψ است و $F_W(s, \tau)$ نقشه زمان-مقیاس را به ما می‌دهد که به نقشه مقیاس‌نما موسوم است و اندیس w نشان‌دهنده این است که در به-دست آوردن نقشه زمان-مقیاس از موجک (Wavelet) استفاده شده است. موجکی که معمولاً در تبدیل موجک پیوسته به کار می‌رود موجک مورلت است. بسامد مرکزی موجک مورلت که به طور عکس با مقیاس متناسب است یک تفسیر آسان را از مقیاس به بسامد فراهم می‌آورد. برای تحلیل زمان-بسامد، مقیاس‌نما با استفاده از رابطه $\frac{f}{f_c}$ به طیف زمان-بسامد تبدیل می‌شود که f_c بسامد مرکزی موجک مورلت است (لاواچ و بودرکس، ۱۹۹۲).

۳ تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد

این روش که تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد نامیده می‌شود را ابتدا سینها و همکارانش در ۲۰۰۵ معرفی کردند. در این روش ابتدا تابع $f(t)$ از CWT به دست آورده می‌شود. سپس از این تابع تبدیل فوریه گرفته می‌شود تا از نقشه زمان-مقیاس، نقشه زمان-بسامد تولید شود که برای بازسازی تابع $f(t)$ از تبدیل موجک، شناسه کالدرون استفاده می‌شود (دوبشیز، ۱۹۹۲).

تفسیر داده‌ها وابسته به انتخاب درست طول پنجره است که این محدودیتی برای روش تبدیل فوریه زمان کوتاه است. اما در روش‌های تبدیل موجک پیوسته و همچنین تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد، نیازی به تنظیم طول پنجره نیست و می‌توان با تغییر دادن مقیاس موجک، طول پنجره بهینه را با توجه به محتوای بسامدی داده‌ها به دست آورد. با عبور کردن موجک‌هایی با مقیاس‌های متفاوت از روی سیگنال لرزه‌ای (شکل ۱) یک نقشه زمان-مقیاس به دست خواهد آمد.



شکل ۱. نمایش انتقال موجک جهت تحلیل سیگنال در روش CWT (راهنمای نرم‌افزار MATLAB).

تفکیک‌پذیری زمانی و بسامدی با استفاده از اصل عدم قطعیت هایزنبرگ به هم مرتبط می‌شوند. با توجه به این اصل با افزایش تفکیک‌پذیری زمانی، تفکیک‌پذیری بسامدی کاهش می‌یابد و برعکس تا اینکه مساحت جعبه عدم قطعیت در صفحه زمان-بسامد ثابت بماند. در تبدیل فوریه زمان کوتاه انتخاب طول پنجره باعث ثابت ماندن تفکیک‌پذیری زمانی و در نتیجه تفکیک‌پذیری بسامدی در کل حوزه زمان-بسامد می‌شود. پنجره تطبیقی (موجک) در تبدیل موجک پیوسته و حتی نقشه زمان-بسامد ناشی از آن، باعث می‌شود تفکیک‌پذیری بسامدی در بسامدهای کم و تفکیک‌پذیری زمانی در بسامدهای زیاد، بهتر نشان داده شود.

یک موجک در حکم تابعی تعریف می‌شود که میانگین صفر دارد و هم در زمان و هم در بسامد متمرکز

رابطه (۸) معادله اساسی است که این امکان را فراهم می‌سازد تا تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد محاسبه شود (سینها و همکاران، ۲۰۰۵) که رابطه بالا نقشه زمان-بسامد را به ما خواهد داد.

۴ تجزیه با تعقیب تطابق

در اینجا سیگنال باید به شکل موج‌هایی بسط یابد که خصوصیات زمان-بسامدی آنها به ساختارهای محلی تطبیق داده شود. یک چنین شکل موج‌هایی اتم‌های زمان بسامد نامیده می‌شود. در واقع تجزیه با تعقیب تطابق یک الگوریتم تکرار شونده است که در هر تکرار یک شکل موج را که بهترین تطابق را با بخش برآورد شده سیگنال دارد، انتخاب می‌کند.

خانواده‌ای از اتم‌های زمان-بسامد را می‌توان با مقیاس‌دهی، انتقال و مدوله کردن یک تک تابع پنجره‌ای تولید کرد. برای هر مقیاس $s > 0$ ، بسامد مدولاسیون ξ و انتقال u ، $\gamma(s, u, \xi)$ مشخص شده و رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$g_\gamma(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} g\left(\frac{t-u}{s}\right) e^{i\xi t} \quad (9)$$

برای بانک اتم‌های زمان-بسامد، تعقیب تطابق یک تبدیل زمان-بسامد تطبیقی می‌دهد و هر تابع را به یک مجموع از اتم‌های زمان-بسامد مختلط تجزیه می‌کند که بهترین قیاس را با باقی‌مانده‌اش داشته باشد. تعقیب تطابق هر تابع را به این صورت تجزیه می‌کند.

$$f = \sum_{n=0}^{\infty} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} \quad (10)$$

توزیع ویگنر متقاطع دو تابع $f(t)$ و $h(t)$ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W[f, h](t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t + \tau/2) \bar{h}(t - \tau/2) e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (11)$$

$$f(t) = \frac{1}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F_w(s, \tau) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) ds}{s^2 \sqrt{s}} d\tau \quad (3)$$

برای اینکه تبدیل معکوس وجود داشته باشد، نیاز است که موجک تحلیل‌کننده شرط پذیرش را ارضا کند

$$C_\psi = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (4)$$

که در آن، $\hat{\psi}(\omega)$ تبدیل فوریه $\psi(t)$ و C_ψ یک ثابت برای موجک ψ است. انتگرال‌ده در رابطه (۴) یک ناپیوستگی در $\omega = 0$ دارد و دلالت بر این دارد که $\int \psi(t) dt = 0$. حال از رابطه (۳) فوریه می‌گیریم

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{c_w} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{s^2 \sqrt{s}} F_w(s, \tau) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) e^{-i\omega\tau} ds d\tau dt \quad (5)$$

با استفاده از نظریه مقیاس‌دهی و انتقال تبدیل فوریه رابطه (۶) صادق است:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) e^{-i\omega\tau} dt = s e^{-i\omega\tau} \bar{\psi}(s\omega) \quad (6)$$

با جابه‌جایی انتگرال‌ها و قرار دادن رابطه (۶) در رابطه (۵) رابطه (۷) به‌دست می‌آید:

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{s^2 \sqrt{s}} F_w(s, \tau) s \bar{\psi}(s\omega) e^{-i\omega\tau} ds d\tau \quad (7)$$

برای به‌دست آوردن نقشه زمان-بسامد، با جمع روی پارامتر انتقال τ و جایگزین کردن $\hat{f}(\omega, \tau)$ با $\hat{f}(\omega)$ خواهیم داشت:

$$\hat{f}(\omega, \tau) = \frac{1}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} F_w(s, \tau) \bar{\psi}(s\omega) e^{-i\omega\tau} \frac{ds}{s^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

۵ نقشه‌های تک‌بسامد حاصل از تجزیه طیفی

حضور خردشدگی و هیدروکربور می‌تواند موجب تضعیف مولفه‌های بسامد زیاد در مخزن و ناحیه زیر آن شود که بررسی‌های موردی متعددی در این زمینه از سوی سان و همکاران (۲۰۰۲) و وانگ (۲۰۰۷) صورت گرفته است. در حوزه زمان-بسامد به تعداد مولفه‌های بسامدی می‌توان مقاطع لرزه‌ای تک‌بسامد داشت. با استفاده از مقاطع لرزه‌ای تک‌بسامد متفاوت می‌توان سایه‌های بسامد کم را که از مخزن هیدروکربور ایجاد می‌شود، تشخیص داد. شکل ۳ مقطع برانبارش شده مربوط به یکی از مخازن هیدروکربوری واقع در پارس جنوبی (میدان گازی فردوس) است که وجود گاز در آن با داده‌های چاه تایید شده است.

با عبور سیگنال لرزه‌ای از میان مخازن گازی، در اثر پدیده جذب، بسامد غالب سیگنال نیز کاهش یافته است، لذا، برای تشخیص و ردیابی مخازن گازی باید به سمت مقاطع تک‌بسامد با بسامد کم روی آوریم. به‌طور تجربی بسامد غالب برای ناهنجاری‌های گازی بین ۱۰ تا ۳۵ هرتز است که در مخزن مورد بررسی، بی‌هنجاری‌های ناشی از حضور گاز در مقاطع تک‌بسامدی ۲۵ و ۱۵ هرتز به‌خوبی دیده می‌شود.

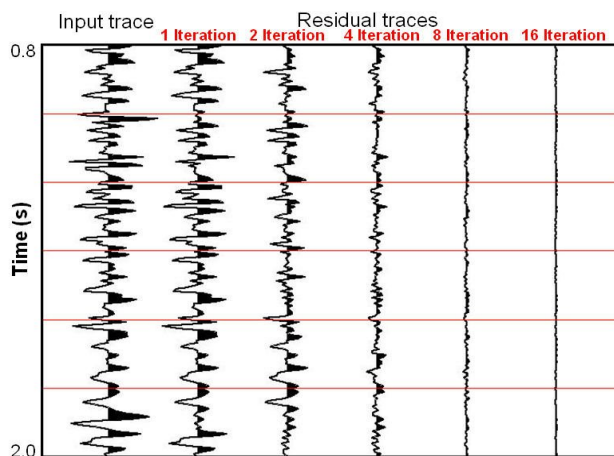
توزیع ویگنر $f(t)$ در رابطه (۱۰) به صورت زیر است.

$$Wf(t, \omega) = \sum_{n=0}^{+\infty} \left| \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle \right|^2 Wg_{\gamma_n}(t, \omega) + \sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{m=0, m \neq n}^{+\infty} \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle \cdot \overline{\langle R^m f, g_{\gamma_m} \rangle} W[g_{\gamma_n}, g_{\gamma_m}](t, \omega) \quad (12)$$

با جمع بستن توزیع ویگنر هر اتم زمان-بسامد یک نوع جدید از توزیع انرژی زمان-بسامد به‌دست می‌آید:

$$Ef(t, \omega) = \sum_{n=0}^{+\infty} \left| \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle \right|^2 + Wg_{\gamma_n}(t, \omega) \quad (13)$$

در شکل ۲ روند تجزیه سیگنال با تعقیب تطابق برای یک سیگنال لرزه‌ای مصنوعی نشان داده شده است. در اولین تکرار موجکی که بهترین قیاس با بزرگ‌ترین دامنه لحظه‌ای سیگنال را دارد از بانک افزون انتخاب می‌شود، و از ردلرزه‌ای اولیه کسر می‌شود و یک ردلرزه باقی‌مانده برای تکرار اول به‌دست می‌آید. به همین ترتیب تجزیه تا لحظه‌ای که انرژی باقی‌مانده زیر حد آستانه‌ای که تعیین شده است قرار گیرد، ادامه می‌یابد. سیگنال باقی‌مانده پس از این مرحله در حکم نوفه محسوب می‌شود.

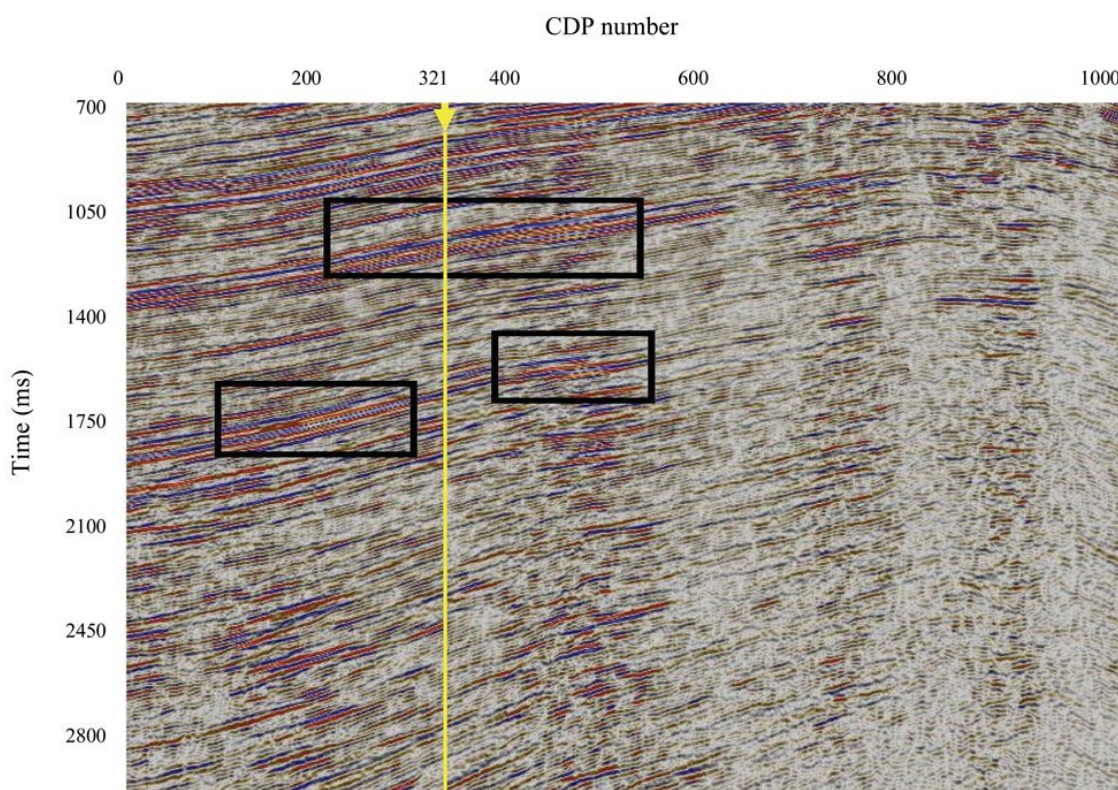


شکل ۲. ردلرزه‌ی اولیه و ردلرزه‌های باقی‌مانده از تکرارهای متفاوت (لیو، ۲۰۰۶).

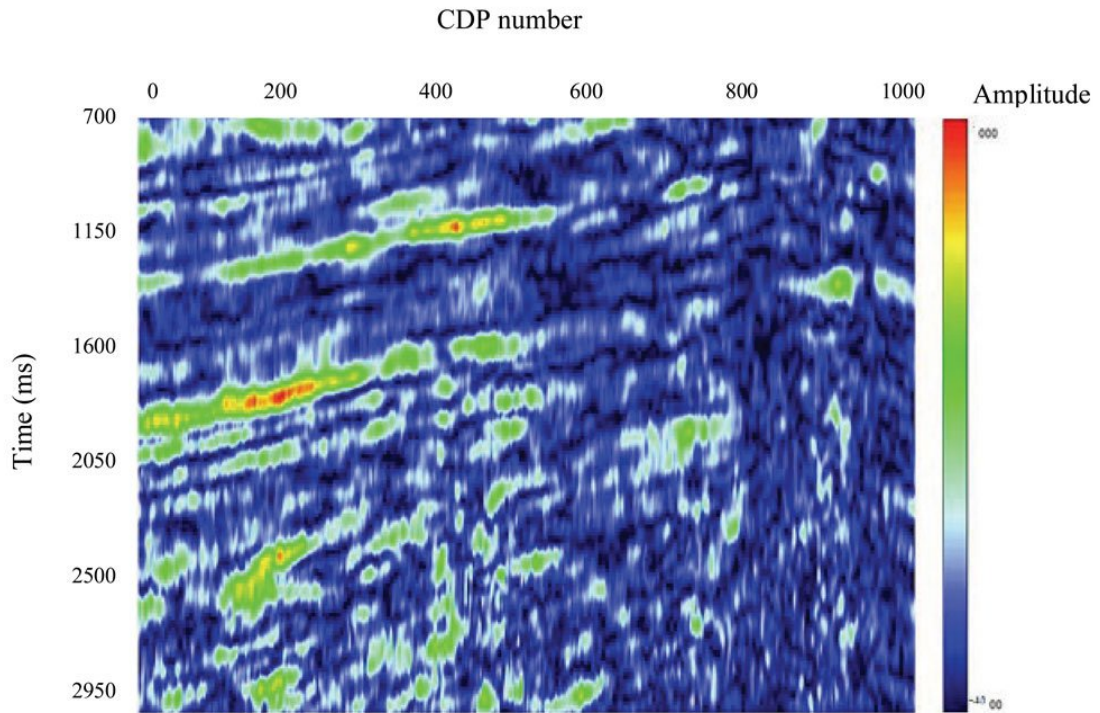
پیوسته زمان-بسامد و تعقیب تطابق در بسامد ۲۵ هرتز هستند. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود بی‌هنجاری‌های ناشی از وجود هیدروکربن در روش MPD با وضوح بهتری نسبت به CWT و TFCWT قابل رویت است که این نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری بسامدی بهتر این روش نسبت به دو روش قبلی است. لازم به ذکر است که محاسبه نقشه زمان-بسامد از روش MPD به دلیل تکرارهای زیاد، زمان‌بر خواهد بود که در این مقاله با توجه به محدودیتی که برای تکرارها در نظر گرفته شده، زمان محاسبات به روش MPD تقریباً پنج برابر روش‌های TFCWT و CWT بوده است.

هرچند دیگر مقاطع لرزه‌ای تک‌بسامد نیز به طور ضعیف‌تر این بی‌هنجاری‌ها را نشان می‌دهند. اما، برای جلوگیری از طولانی شدن این مقاله از آوردن آنها پرهیز شده است.

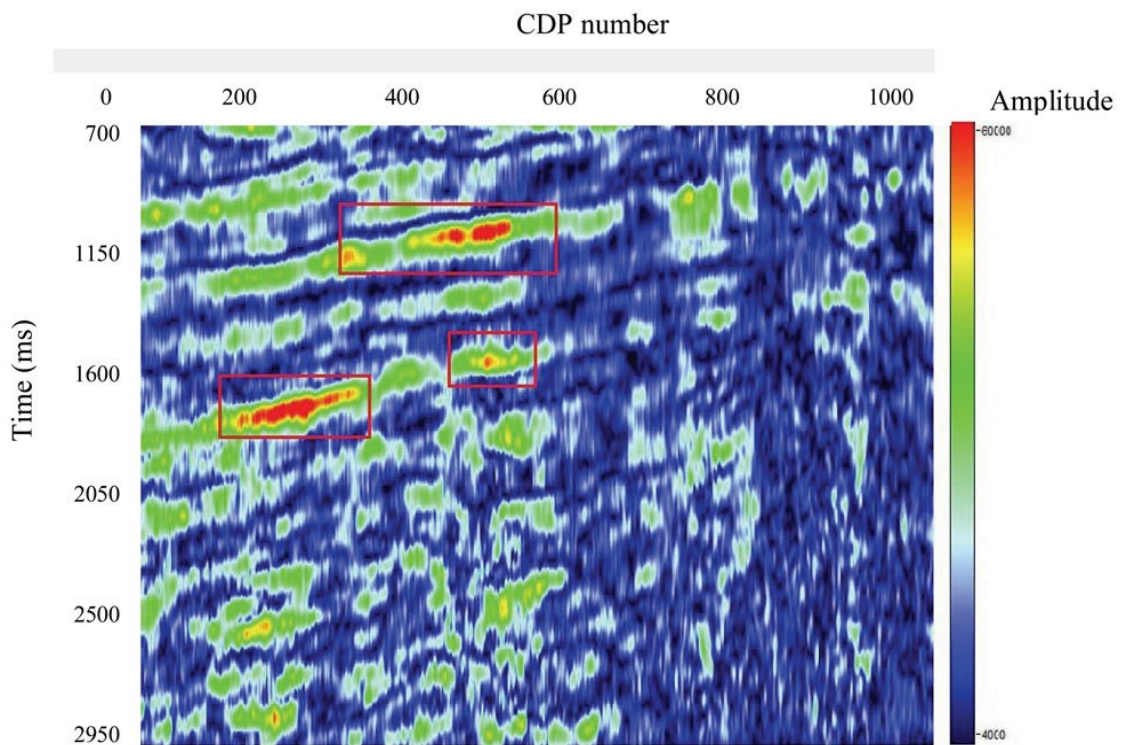
همچنان که در شکل ۳ دیده می‌شود در دو محدوده زمانی ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ و ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی‌ثانیه بی‌هنجاری‌هایی دیده می‌شود که با مستطیل مشکی نشان داده شده است. در شکل‌های ۴ و ۵ مقاطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از تبدیل موجک پیوسته در بسامدهای ۱۵ و ۲۵ هرتز نشان داده شده است. شکل‌های ۷ و ۹ نیز به ترتیب مقاطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از تبدیل موجک



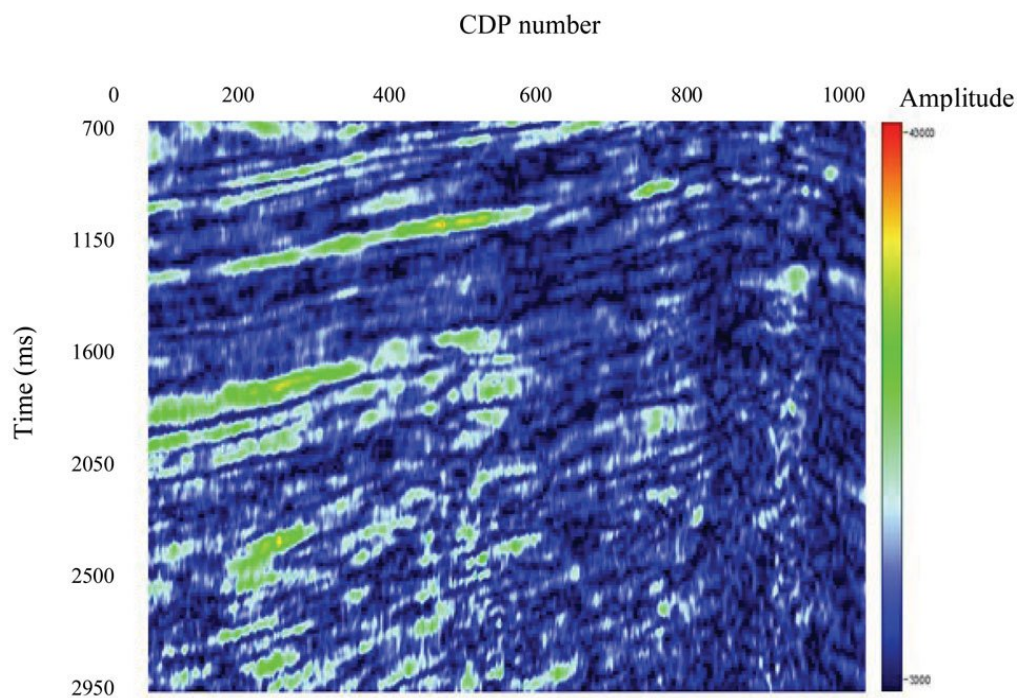
شکل ۳. مقطع لرزه‌ای مورد بررسی در یکی از میدین گازی خلیج فارس. مستطیل‌های سیاه‌رنگ سایه‌های کم‌بسامد مخزن گازی را نشان می‌دهند. موقعیت چاه نیز با خط زردرنگ در امتداد رد لرزه شماره ۳۲۱ دیده می‌شود.



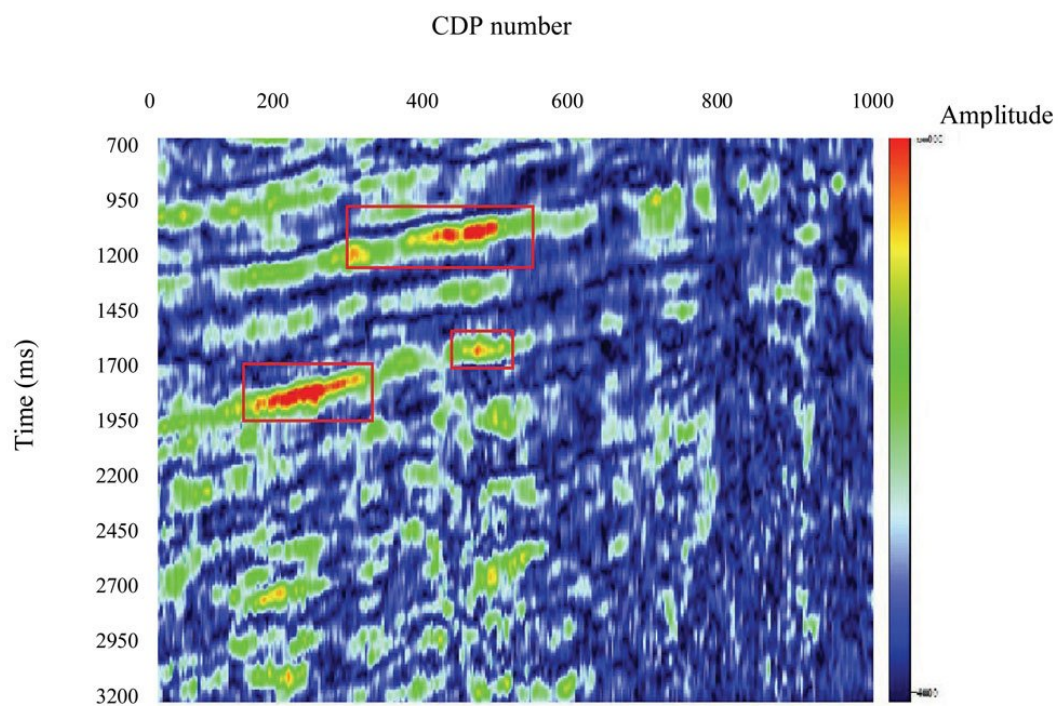
شکل ۴. مقطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از تبدیل موجک پیوسته در بسامد ۱۵ هرتز.



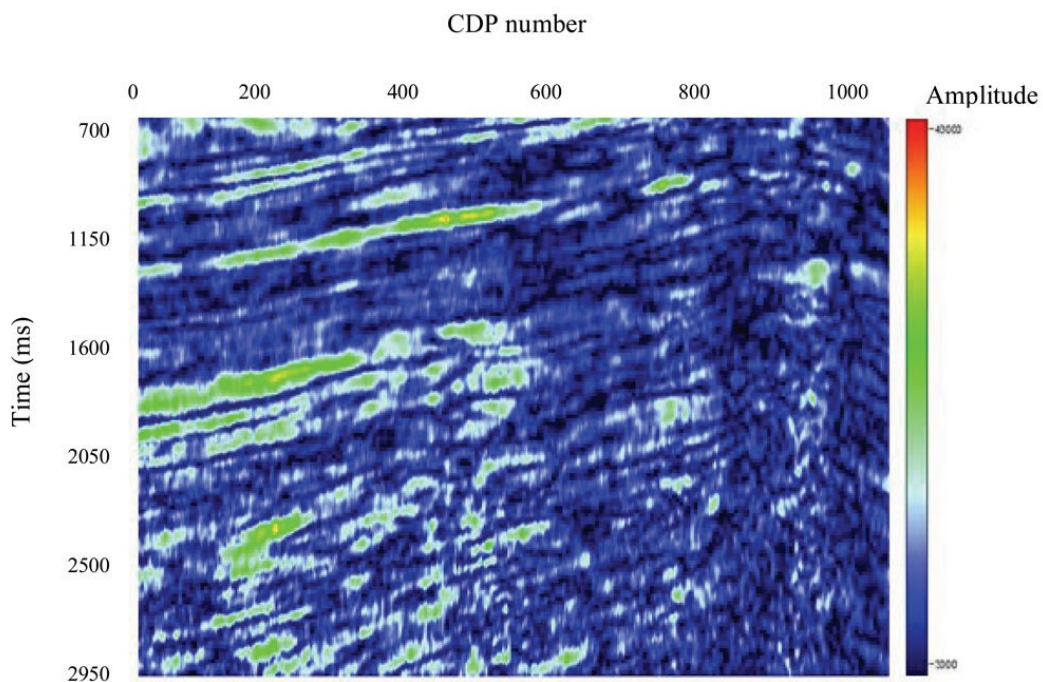
شکل ۵. مقطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از تبدیل موجک پیوسته در بسامد ۲۵ هرتز که محل حضور گاز با مستطیل سرخ‌رنگ مشخص شده است.



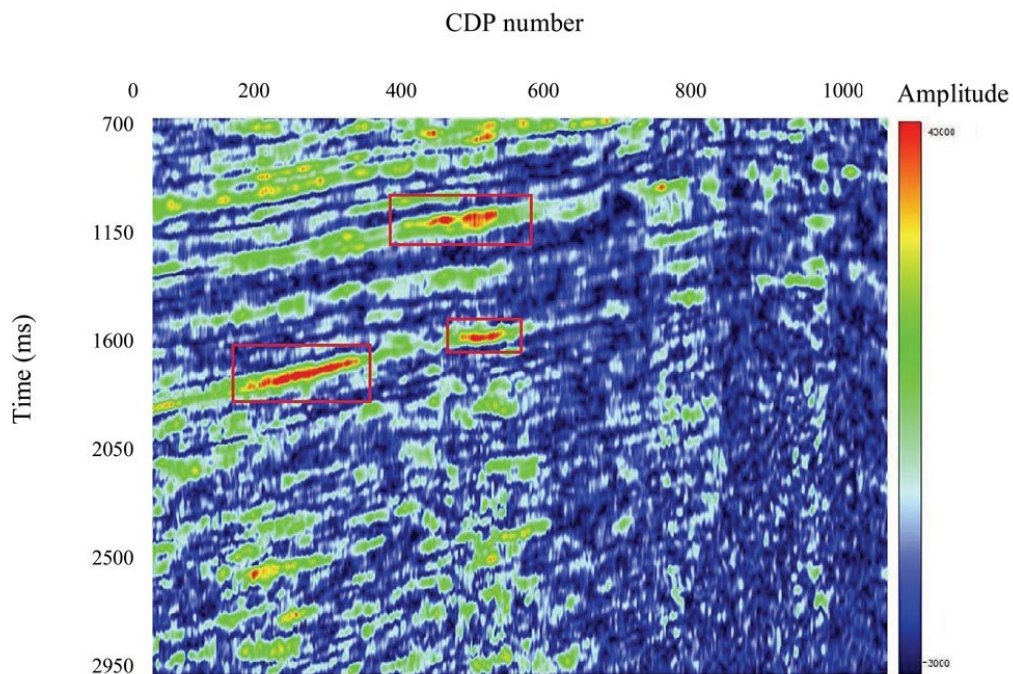
شکل ۶. مقطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد در بسامد ۱۵ هرتز.



شکل ۷. مقطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از تبدیل موجک پیوسته زمان-بسامد در بسامد ۲۵ هرتز است که محل حضور گاز با مستطیل سرخ‌رنگ مشخص شده است. این روش دارای تفکیک‌پذیری بسامدی نسبتاً خوبی است.



شکل ۸. مقطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از روش تعقیب تطابق در بسامد ۱۵ هرتز.



شکل ۹. مقطع لرزه‌ای تک‌بسامد حاصل از روش تعقیب تطابق در بسامد ۲۵ هرتز که در آن محل حضور گاز با مستطیل سرخ‌رنگ مشخص شده است و نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری بسامدی بهتر این روش نسبت به روش‌های CWT و TFCWT است.

۶ نتیجه‌گیری

استفاده از تبدیل موجک پیوسته، روشی مرسوم برای به- دست آوردن طیف زمان-بسامد است. در این روش به- علت استفاده کردن از بسامد مرکزی هر مقیاس برای تبدیل یک نقشه زمان-مقیاس به نقشه زمان-بسامد یک سری تضعیف‌های ناخواسته ایجاد می‌شود که باعث پایین آمدن تفکیک‌پذیری بسامدی خواهد شد. روش TFCWT با توجه به اینکه به طور مستقیم نقشه زمان-بسامد را به ما می‌دهد این مشکل روش CWT را حل خواهد کرد و تفکیک‌پذیری بسامدی بهتری نسبت به روش CWT خواهد داشت. از طرف دیگر روش تعقیب تطابق به دلیل اینکه هر جز از سیگنال به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد، تفکیک‌پذیری بهتری نسبت به دو روش CWT و TFCWT خواهد داشت و با این روش سایه‌های کم‌بسامد ناشی از حضور هیدروکربور به خوبی مشخص خواهد شد.

منابع

- Hlawatsch, F., and Boudreaux, G. F., 1992, Linear and quadratic time-frequency signal representations: IEEE Signal Processing, **9**, 21-67.
- Liu, J., 2006, Spectral decomposition and its application in mapping stratigraphy and hydrocarbons: thesis, Ph.D., Department of Geosciences, and University of Houston.
- Mallat, S., and Zhang, Z., 1993, matching pursuits with time-frequency dictionaries: IEEE Transactions on Signal Processing, **41**, 3397-3415.
- Mallat, S., 1999, A wavelet tour of signal processing: Academic Press, 2nd edition, San Diego, California.
- Marfurt, K. J., and Kirlin, R. L., 2001, Narrow-band spectral analysis and thin-bed tuning: Geophysics, **66**, 1274-1283.
- Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E., and Giard, D., 1982, Wave propagation and sampling theory: part I, complex signal and scattering in multilayered media: Geophysics, **47**, 203-221.
- Partyka, G. A., Gridley, J., and Lopez, J., 1999, Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization: The Leading Edge, **18**, 353-360.
- Peyton, L., Bottjer, R., and Partyka, G., 1998, Interpretation of incised valleys using new 3-D seismic techniques: a case history using spectral decomposition and coherency: The Leading Edge, **17**, 1294-1298.
- Rioul, O., and Flandrin, P., 1992, Time-scale energy distributions: A general class extending wavelet transforms: IEEE T. Signal Proces, **40**, 1746-1757.
- Rioul, O., and M.Vetterli, 1991, Wavelets and signal processing: IEEE Signal Processing, **8**(4), 14-38.
- Sinha, S., Routh, R., Anno, P., and Castagna, J., 2005, Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform: Geophysics, **70**, 19-25.
- Taner, M., Koehler, F., and Sheriff, R., 1977, Complex seismic trace analysis: Geophysics, **44**, 1041-1063.
- Wang, Y., 2007, Seismic time-frequency spectral decomposition by matching pursuit: Geophysics, **72**, V13-V20.
- Barnes, A., 1993, Instantaneous frequency and amplitude at the envelope peak of a constant-phase wavelet: Geophysics, **56**, 1058-1060.
- Castagna, J. P., Sun, S. and Siegfried, R., 2003, Instantaneous spectral analysis: detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons: The Leading Edge, **22**, 120-127.
- Chakraborty, A., and Okaya, D., 1995, Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods: Geophysics, **60**, 1906-1916.
- Chen, Q., and S. Sidney, 1997, Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring: The Leading Edge, **16**, 445-456.
- Daubechies, I., 1992, ten lectures on wavelets: Regional Conference Series in Applied Mathematics, SIAM. Philadelphia.
- Goupillaud, P., Grossmann, A., and Morlet, J., 1985, Cycle octave and related transforms in