

عملکرد روش‌های EMD، EEMD و CEEMD در تضعیف نوفه‌های تصادفی

خبات ساعد موحشی^۱، نوید شاد منامان^۲، معصومه لطفی^۳

^۱ کارشناسی‌ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشگاه صنعتی سهند، kh_saed@sut.ac.ir

^۲ استادیار، دانشگاه صنعتی سهند، shmanaman@sut.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، masoumelotfi@aut.ac.ir

چکیده

یکی از مراحل مهم پردازش داده‌های لرزه‌نگاری تضعیف نوفه‌های موجود در مقاطع لرزه‌ای است که منجر به پوشیده شدن سیگنال‌های بازتابی شده‌اند. روش‌های متعددی برای بهبود کیفیت داده لرزه‌ای و افزایش نسبت سیگنال به نوفه وجود دارد که تجزیه مد تجربی یکی از کارآمدترین این روش‌ها است. در این مطالعه، ضمن معرفی روش‌های تجزیه مد تجربی، تجزیه مد تجربی گروهی و تجزیه مد تجربی گروهی کامل، عملکرد هر یک از آنها در تضعیف نوفه‌های تصادفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش‌ها، ضمن تفکیک سیگنال نوفه‌دار به چندین زیرسیگنال مدوله شده دامنه و فرکانس تحت عنوان توابع مد ذاتی (IMFs) با ترتیب پهنای باند فرکانسی کاهشی، از توابع مد ذاتی دربردارنده نوفه‌های تصادفی صرف نظر می‌شود و سایر توابع مد ذاتی جهت بازسازی سیگنال اولیه با یکدیگر ترکیب می‌گردند. نتایج نشان می‌دهد که روش تجزیه مد تجربی گروهی کامل نسبت به دو روش دیگر در تضعیف نوفه‌های تصادفی عملکرد بهتری داشته است.

واژه‌های کلیدی: نوفه‌های تصادفی، توابع مد ذاتی، تجزیه مد تجربی، تجزیه مد تجربی گروهی، تجزیه مد تجربی گروهی کامل

EMD, EEMD and CEEMD methods applications in random noise attenuation

Khabat Saed Moucheshi¹, Navid Shad Manaman², Masoume Lotfi³

¹ Department of Petroleum Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

² Department of Petroleum Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

³ Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Attenuating seismic noise covering the reflected signal components is an important step in seismic data conditioning. There are several methods to improve the quality of seismic data and to increase the signal to noise ratio, which empirical mode decomposition is an effective one. In this study, empirical mode decomposition, ensemble empirical mode decomposition, complete ensemble empirical mode decomposition methods and their application in random noise attenuation have been investigated. In these three methods, the noisy signal is decomposed into several sub-signals consisting specific amplitudes and frequencies called intrinsic mode functions (IMFs) with frequency bandwidth descending orders. The IMFs containing random noise are ignored and remained IMFs are combined to recover the original seismic signal. The results show that the complete ensemble empirical mode decomposition method has a better performance in random noise attenuation than the two other methods.

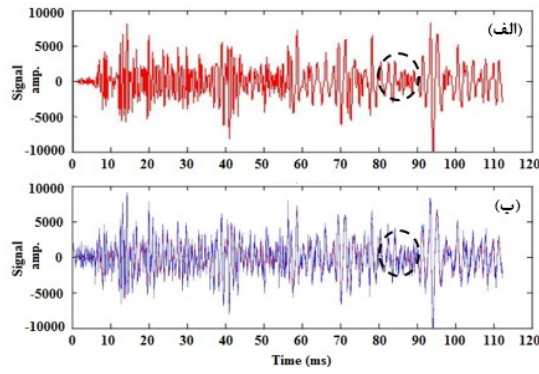
Keywords: random noise, intrinsic mode functions, empirical mode decomposition, ensemble empirical mode decomposition, complete ensemble empirical mode decomposition

۱ مقدمه

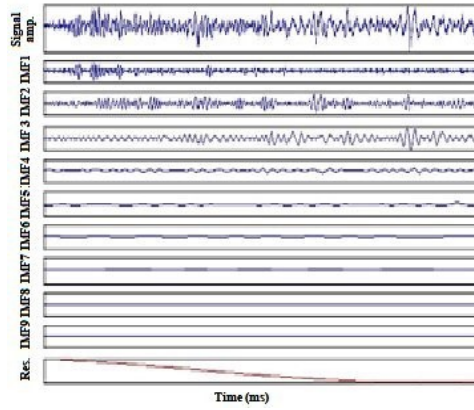
پردازش داده‌های لرزه‌ای اغلب با فرض پایا بودن سیگنال لرزه‌ای انجام می‌گیرد، درحالی‌که با توجه به تغییر محتوای فرکانسی سیگنال‌های لرزه‌ای با زمان این فرضیه در حالت کلی صادق نیست. روش تجزیه مد تجربی (EMD) تکنیکی قدرتمند برای تجزیه طیفی سیگنال‌های ناپایا و غیرخطی است. در واقع این روش، راهکاری برای آنالیز سیگنال‌های چند جزئی است که می‌تواند سیگنال ناپایا را به تعدادی از زیرسیگنال‌های مدوله شده دامنه و فرکانس به نام توابع مد ذاتی (IMFs) به ترتیب کاهش پهنای باند فرکانسی تفکیک نماید (بکارا و وندربان، ۲۰۰۸). روش تجزیه مد تجربی اولین بار توسط هوانگ و همکاران (۱۹۹۸) معرفی گردید و تا کنون پیشرفت‌های تکاملی فراوانی را طی کرده است. بعد از معرفی روش اولیه، به دلیل مسائل و مشکلات مربوط به ترکیب (اختلاط) مد، وو و هوانگ (۲۰۰۹) روش تجزیه مد تجربی گروهی (EEMD) را معرفی نمودند. EEMD شامل غربالگری یک دسته از سیگنال‌های با نوفه سفید اضافه شده و حاصل شدن یک میانگین به عنوان نتیجه نهایی است. به عبارت دیگر چندین بار نوفه‌های سفید مختلف به سیگنال اضافه می‌گردد و در هر بار، IMF ها به روش EMD محاسبه می‌شوند. سپس از IMF های هم‌شماره بدست آمده در هر مرحله (به عنوان مثال تمامی IMF های اول در هر مرحله) میانگین‌گیری شده و نتایج به عنوان IMF های نهایی در نظر گرفته می‌شوند. روش EEMD دارای مشکلاتی از قبیل باقی ماندن مقداری نوفه در داده بازسازی شده از مدهای ذاتی و نیز تولید مدهای ذاتی مختلف در اثر اضافه کردن نوفه‌های گوسی مختلف است. از این رو، تورس و همکاران (۲۰۱۱)، با معرفی تجزیه مد تجربی گروهی کامل (CEEMD)، مشکل غیر کامل بودن روش‌های پیشین را برطرف نمودند. در این روش نیز چندین بار نوفه سفید به سیگنال لرزه‌ای اضافه می‌گردد، با این تفاوت که در مرحله اول ضمن اضافه کردن نوفه سفید، IMF اول استخراج شده و برای استخراج IMF های بعدی با اضافه کردن مجدد نوفه مراحل به همین منوال تکرار می‌گردد.

۲ روش تحقیق

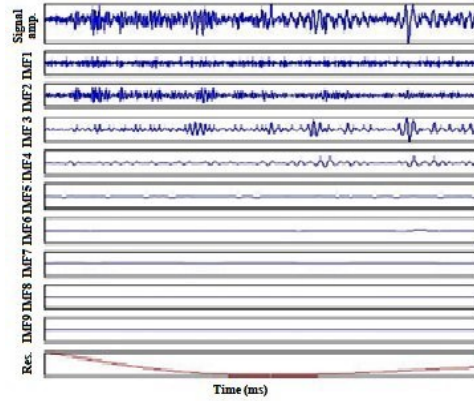
به منظور درک بهتر روش‌های EMD، EEMD و CEEMD و نیز تأثیر عملکرد فیلترهای طراحی شده در تضعیف نوفه، یک ردلرزه مصنوعی حاصل از هم‌میکت یک سری بازتاب دلخواه و یک موجک ریکر با فرکانس غالب ۲۰ هرتز تولید گردید. سپس سیگنال مصنوعی ایجاد شده به نوفه تصادفی مصنوعی با محدوده‌ی فرکانسی ۱ تا ۵۰ هرتز آغشته شده است. در شکل‌های ۱-الف و ۱-ب، به ترتیب سیگنال لرزه‌ای اولیه و سیگنال لرزه‌ای نوفه‌دار با رنگ‌های قرمز و آبی نشان داده شده است. پس از آن، به کمک هر یک از روش‌های ذکر شده و الگوریتم خاص محاسباتی مربوط به توابع مد ذاتی هر یک از آن‌ها، سیگنال لرزه‌ای حاوی نوفه به ترتیب پهنای باند فرکانس کاهش می‌دهد، به یک سری از توابع مد ذاتی تجزیه گردید. لازم به ذکر است که به منظور تعیین نقاط بیشینه و کمینه سیگنال لرزه‌ای و استخراج توابع مد ذاتی، روش درونیایی اسپیلاین مکعبی که از میان مابقی روش‌های درونیایی کارآمدتر بوده است، با کمک آزمون و خطا انتخاب شده است. در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب توابع مد ذاتی تجزیه شده حاصل از روش‌های EMD، EEMD و CEEMD نمایش داده شده است. در گام بعدی ضمن نظر کردن از IMF های دارای نوفه، با ترکیب IMF های باقیمانده بدون نوفه با یکدیگر سیگنال اولیه بازسازی می‌گردد. در شکل ۵ قسمتی از سیگنال لرزه‌ای اولیه و سیگنال لرزه‌ای نوفه‌دار در بازه زمانی ۹۰-۸۰ میلی‌ثانیه برای بررسی جزئیات انتخاب شده است. در شکل ۶ یک مقایسه نسبی بین سیگنال لرزه‌ای بازسازی شده به کمک هر یک از روش‌های EMD، EEMD و CEEMD در محدوده زمانی ۹۰-۸۰ میلی‌ثانیه صورت گرفته است. به کمک این روش‌ها می‌توان تا حد امکان با حفظ مشخصات سیگنال اولیه، نوفه‌های تصادفی را تضعیف نمود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش CEEMD نسبت به روش‌های دیگر علاوه بر رفع مشکلات ناشی از ترکیب (اختلاط) مد، تعداد تکرار الگ (غربالگری) کمتری در محاسبه توابع مد ذاتی داشته است که این خود منجر به کاهش زمان محاسباتی این الگوریتم شده است. تجزیه با سه روش ذکر شده به طور معمول از آشفتنگی نوفه برای مجبور کردن الگوریتم به جستجوی تمامی فرکانس‌ها استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که اضافه کردن بیش از حد نوفه، الگوریتم را به سوی فقدان فرکانسی سوق می‌دهد که این مشکل در الگوریتم روش CEEMD بسیار جزئی‌تر از دو روش دیگر است (تورس و همکاران، ۲۰۱۱).



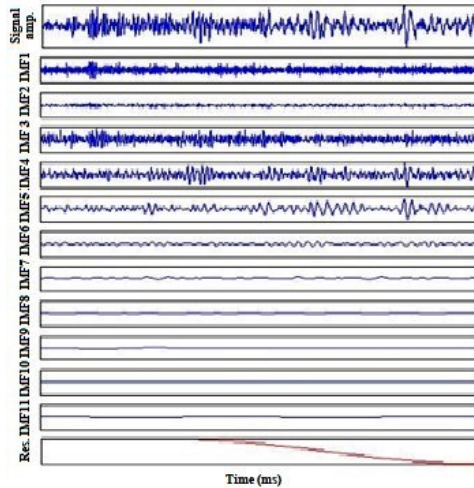
شکل ۱. (الف) سیگنال اولیه (منحنی قرمز)، (ب) سیگنال اولیه نوفه‌دار (منحنی آبی).



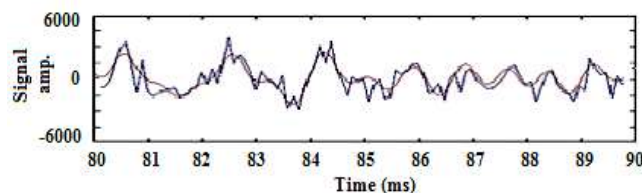
شکل ۲. تجزیه سیگنال اولیه نوفه‌دار به ۱۰ تابع مد ذاتی به روش تجزیه مد تجربی.



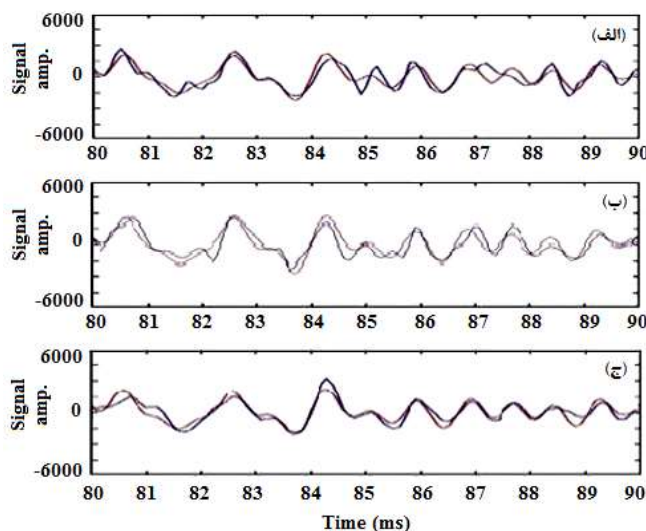
شکل ۳. تجزیه سیگنال اولیه نوفه‌دار به ۱۰ تابع مد ذاتی به روش تجزیه مد تجربی گروهی.



شکل ۴. تجزیه سیگنال اولیه نوفه دار به ۱۲ تابع مد ذاتی با روش تجزیه مد تجربی گروهی کامل.



شکل ۵. سیگنال اولیه (منحنی قرمز) و سیگنال اولیه نوفه‌دار (منحنی آبی) در بازه زمانی ۹۰-۸۰ میلی ثانیه.



شکل ۶. (الف) نتیجه اعمال روش EMD، (ب) نتیجه اعمال روش EEEMD، (ج) نتیجه اعمال روش CEEMD (منحنی قرمز سیگنال اولیه و منحنی آبی سیگنال بازسازی شده را نشان می‌دهد).

۳ نتیجه‌گیری

هر سه روش EMD، EEEMD و CEEMD با تفکیک سیگنال لرزه‌ای به یک سری از توابع مد ذاتی (IMFs) با ترتیب کاهش پهنای باند فرکانسی و حذف کامل IMF های نوفه‌دار، ضمن تضعیف نوفه تصادفی، سیگنال لرزه‌ای را با دقت قابل قبولی بازسازی نمودند. بررسی‌ها نشان داده است که با افزایش تعداد IMF های تجزیه شده، نتایج بدست آمده از دقت بالاتری برخوردار است؛ لذا روش CEEMD در مقایسه با دیگر روش‌های مذکور در تجزیه توابع مد ذاتی و نیز استخراج سیگنال لرزه‌ای بازسازی شده عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.

منابع

- Bekara, M. and Van der Baan, M., 2009, Random and coherent noise attenuation by empirical mode decomposition, *Geophysics*, 74(5), V89-V98.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C. and Liu, H.H., 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, *Proceedings of the Royal Society of London A: mathematical, physical and engineering sciences*, 454(1971), 903-995.
- Torres, M.E., Colominas, M.A., Schlotthauer, G. and Flandrin, P., 2011. A complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise, *IEEE international conference on Acoustics, speech and signal processing*, 4144-4147.
- Wu, Z. and Huang, N.E., 2009. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method. *Advances in adaptive data analysis*, 1(01), 1-41.