

mgr inż. Kamila Wawrzyniak

III rok Studiów Doktoranckich

Akademia Górniczo – Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, ul. Mickiewicza 30, 30-059
Kraków; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Geofizyki,

Analiza falkowa – narzędzie do przetwarzania akustycznych obrazów falowych

Streszczenie

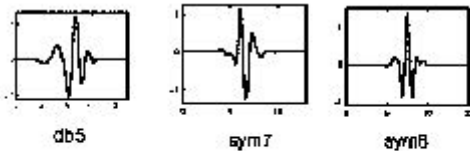
W pracy przedstawiono dyskretną analizę falkową (*Digital Wavelet Transform – DWT*) jako nowe narzędzie do przetwarzania akustycznych obrazów falowych. Celem przeprowadzonych badań była dekompozycja sygnałów akustycznych na poszczególne pakiety falowe i na tej podstawie wyznaczenie czasów interwałowych fali P, S i Stoneley'a. Zaprezentowano podstawy DWT, przedstawiono wykorzystanie akustycznych obrazów falowych w geofizyce a także opisano sposób zastosowania DWT do dekompozycji obrazów falowych. Wyliczone na tej podstawie czasy interwałowe fali P, S, Stoneley'a porównano z czasami DT wyznaczonymi innymi metodami. Wyniki wskazują, że wybór falki matki jest kluczowy w zagadnieniu identyfikacji poszczególnych pakietów falowych.

Wprowadzenie

Akustyczne obrazy falowe, rejestrowane sondą Long Spaced Sonic (LSS) firmy Halliburton Energy Services, dostarczają informacji o własnościach sprężystych skał *in situ*, w szczególności o prędkościach fali P, S i Stoneley'a oraz o dynamicznych modułach sprężystości. Podstawą interpretacji są wybrane konfiguracje par obrazów falowych, z których wyznaczane są czasy interwałowe fal P, S, Stoneley'a (DTP, DTS, DTSt) w oparciu o czasy przyścia poszczególnych pakietów falowych. Interpretacja akustycznych obrazów falowych jest bardzo utrudniona z uwagi na obserwowaną interferencję fal i skomplikowany skład częstotliwościowy poszczególnych pakietów falowych. Dyskretna transformata falkowa jest narzędziem, które stwarza możliwość analizy czasowo – częstotliwościowej sygnałów. Daje to podstawę do podjęcia próby dekompozycji akustycznych obrazów falowych na poszczególne pakiety falowe, a następnie wyznaczenia pierwszych wstąpień każdej z fali i wyliczenia czasów interwałowych.

Dyskretna transformata falkowa (ang. *Discrete Wavelet Transform DWT*)

DWT jest analizą czasowo – częstotliwościową sygnałów niestacjonarnych. Wykorzystuje okna (falki) o różnych szerokościach i pozwala badać różne częstotliwości z różną rozdzielczością w domenie czasu [Polikarp, 1995; Kaiser 1994].



Rys.1. Przykłady falek matek: Daubeches 5 (db5), symlet 7 (sym7) oraz symlet 8 (sym8)

Reprezentacja falkowa sygnału $x(t)$ jest funkcją dwóch zmiennych stanowiącą kombinację liniową przesuwalnej (parametr τ) i skalowalnej (parametr s) funkcji zwanej falką – matką (*mother wavelet*) $\psi_{\tau, s}(t)$ [Augustyniak, 2003; Białasiewicz, 2000; Kaiser, 1995].

W wyniku kwantyzacji skali s i przesunięcia τ w oparciu o potęgę dwójki (tzw. diadyczne skalowanie) za pomocą parametrów m i n (gdzie: $s = 2^m$ i $\tau = n \cdot s = n \cdot 2^m$) uzyskuje się następującą postać falki – matki ψ :

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \psi(2^{-m}t - n) \quad [1]$$

Realizacja DWT oparta jest na algorytmie filtracji cyfrowej rozwiniętej przez Mallata [Mallat, 1989; Misiti et al. 2002], a wywodzącej się z algorytmu „*two-channel subband coding*”. Analizowany sygnał jest przepuszczany przez system wzajemnie się uzupełniających filtrów: dolno- i górnopasmowego, a następnie, połowa próbek jest eliminowana. W wyniku działania DWT otrzymuje się detale (D_i) i aproksymacje (A_i), które niosą informację o sygnale pierwotnym na różnych poziomach szczegółowości. Aproksymacje są niskoczęstotliwościowym, zgrubnym przybliżeniem sygnału, podczas gdy detale odpowiadają za wysokie częstotliwości występujące w analizowanym sygnale. Na ich podstawie dokonuje się rekonstrukcji sygnału na i -tym, dowolnym poziomie dekompozycji:

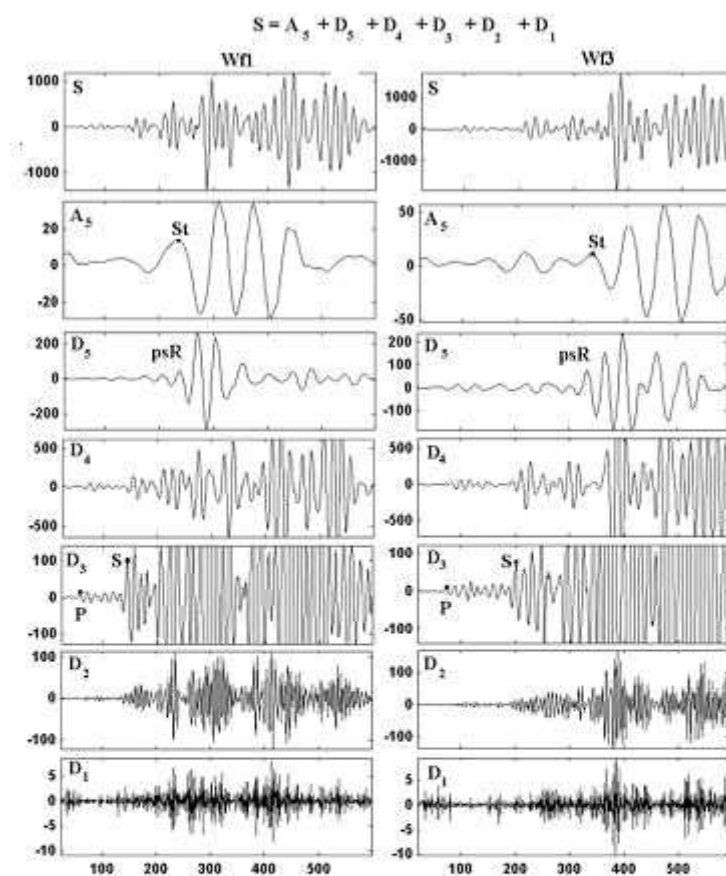
$$x(t) = A_i + \sum_i D_i \quad [2]$$

Akustyczne obrazy falowe

Profilowanie akustyczne z pełnym obrazem falowym jest nowoczesną metodą pomiarów otworowych. Dokładne wyznaczenie czasów przyścia każdej z fal jest warunkiem koniecznym do przeprowadzenia poprawnej interpretacji akustycznych obrazów falowych. Czasy interwałowe fali P i S pozwalają na wyznaczenie prędkości fal akustycznych w skale, określenie porowatości, a w połączeniu z informacją o gęstości ośrodka geologicznego, na

wyliczenie dynamicznych modułów sprężystości *in situ*. Fala Stoneley'a niesie natomiast informację o szczelinowatości i przepuszczalności badanych formacji. Interpretacja ilościowa akustycznych obrazów falowych polega na wydzieleniu i zidentyfikowaniu różnych typów fal generowanych w odwiercie i rozchodzących się w ośrodku skalnym oraz na określeniu ich cech kinematycznych (czasów interwałowych, prędkości) i dynamicznych (wielkość amplitudy, tłumienia, energii fal) [Bała 1988; Jarzyna, 1989, Jarzyna et al. 1999].

Zastosowanie dyskretnej transformaty falkowej do dekompozycji akustycznych obrazów falowych



Rys. 2. Przykład dekompozycji akustycznych obrazów falowych przeprowadzonej za pomocą falki db5 na parze WF1 – WF3.

Rysunek przedstawia detale (D) na pięciu poziomach dekompozycji, aproksymacje (A5) oraz analizowane sygnały WF1 i WF3 (S). Wyświetlono jedynie fragment sygnałów obejmujący wyinterpretowane pakiety falowe (zaznaczone punktami): P, S, pseudo – Rayleigh'a (psR) oraz Stoneley'a (St). Skala pionowa została tak dopasowana, aby uwidocznic czasy przyjscia poszczegolnych fal. Skale poziomą wyrazono za pomocą numerów próbek sygnału (obrazy falowe są próbkowane z krokiem 4 μ s przez okres czasu 4 ms.)

akustyczne obrazy falowe WF1 – WF3 zarejestrowane sondą Sonda LSS (*Long Spaced Sonic*) firmy Halliburton Energy Services w anhydrycie górnym (cyklotem Z2) w otworze Kościan 6

Z uwagi na skomplikowany charakter akustycznych obrazów i obserwowaną interferencję poszczególnych pakietów falowych zdecydowano się na podjęcie próby rozdzielenia ich za pomocą dyskretnej transformaty falkowej DWT. Ponieważ fale powstające przy przechodzeniu sygnału akustycznego przez ośrodek geologiczny są zróżnicowane m. in. pod względem charakterystyki częstotliwościowej, uzasadnione jest wykorzystanie DWT do rozdzielenia obrazów na poszczególne pakiety falowe.

Wszystkie obliczenia związane z analizą falkową wykonano przy pomocy oprogramowania MATLAB[®].

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano

na monoklinie przedsudeckiej. Każdy obraz z wybranych par WF1 – WF3 poddano transformacji falkowej na 5 poziomach dekompozycji za pomocą trzech różnych falek matek (Rys.1.): falki Daubechies 5 (Db5), symlet 7 (sym 7) oraz symlet 8 (sym 8).

W wyniku dekompozycji uzyskano aproksymacje i detale, na których dokonano identyfikacji poszczególnych pakietów falowych: P, S, pseudo-Rayleigh’a oraz Stoneley’a. (Rys.2.) Kolejnym krokiem było wyliczenie czasów interwałowych DTP, DTS, DTSt na podstawie odpowiednich konfiguracji par obrazów falowych WF1- WF3.

Równolegle przeprowadzono interpretację tych samych par obrazów falowych w aplikacji FalaWin[®] wykorzystując funkcję semblance i ręczne pikowanie pierwszych wstąpień poszczególnych pakietów falowych [Jarzyna et al., 2001]. Uzyskane wyniki porównano także z czasem DT8 będącym czasem interwałowym fali P zapisywanym przez aparaturę podczas pomiaru. Wszystkie czasy interwałowe obliczone za pomocą różnych metod zestawiono w Tabeli 1.

Wf1 – Wf3 anhydryt podstawowy Kościan 6			
Metoda wyznaczenia DT	DTP [$\mu\text{s}/\text{m}$]	DTS [$\mu\text{s}/\text{m}$]	DTSt [$\mu\text{s}/\text{m}$]
DT8	163	–	–
Funkcja semblance	164	354	813
Pikowanie czasów przyjscia	177	354	–
DWT – Db5	157	374	669
DWT – sym7	183	360	650
DWT – sym8	177	360	570

Tabela 1. Zestawienie wyliczonych czasów interwałowych fali P, S, Stoneley’a dla pary WF1 – WF3 uzyskanych różnymi metodami.

Podsumowanie i dyskusja wyników

Dyskretna analiza falkowa DWT daje szansę na unikatowe podejście w przetwarzaniu i interpretacji akustycznych obrazów falowych w aspekcie lokalizacji poszczególnych pakietów falowych w domenie czasu.

W Tabeli 1. przedstawiono czasy interwałowe wyliczone różnymi metodami. Metody te można podzielić na metody automatycznej (DT8, funkcja semblance) oraz ręcznej interpretacji – zależnej od interpretatora (pikowanie czasów przyjscia oraz DWT) Zestawienie

to ujawnia zróżnicowanie wyników między grupami a także w obrębie grupy manualnego wyznaczania DT.

DT8 oraz DTP wyliczone z funkcji semblance, nie różnią się między sobą. Czasy te mają jednak inną wartość od tych wyznaczonych przez interpretatora. Z Tabeli 1. wynika, że w przypadku fali P zbieżne wyniki z ręcznym pikowaniem uzyskano dla falki symlet 8. Falki Db5 i sym8 dobrze wykrywają falą S. W przypadku fali Stoneley'a żadna z zastosowanych falek nie dała wyników zgodnych z czasem DTSt uzyskanym z funkcji semblance.

Duże zróżnicowanie obserwowane dla wyników dyskretnej transformaty falkowej sugeruje, że wybór falki matki jest bardzo istotny przy poprawnej dekompozycji obrazów falowych i identyfikacji poszczególnych pakietów falowych. Takie zróżnicowanie wyznaczonych czasów interwałowych za pomocą DWT stwarza szansę wydzielenia różnych fal z obrazu za pomocą różnych falek. Planowane są dalsze badania ukierunkowane na dobór odpowiednich falek dla każdego pakietu falowego w celu optymalizacji procesu dekompozycji akustycznych obrazów falowych.

Literatura:

- Augustyniak P., (2003) *„Transformacje falkowe w zastosowaniach elektrodiagnostycznych”*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo – Dydaktyczne, Kraków;
- Bała M., (1988): *„Analiza obrazu falowego zarejestrowanego przy profilowaniu akustycznych obrazów falowych w odwiercie pod kątem oceny parametrów sprężystych i zbiornikowych skał”*, Rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe AGH, Kraków;
- Białasiewicz J. T., (2000): *„Falki i aproksymacje”*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa;
- Jarżyna J., (1989): *„Analiza pola fal sprężystych w otworze wiertniczym i naturalnym ośrodku skalnym w metodzie profilowań akustycznych”*, Rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe AGH, Kraków;
- Jarżyna J., Bała M., Cichy A., (2001): *„Interpretacja akustycznych obrazów falowych – programy FalaWin”*, Wydział GGi OŚ AGH, Kraków;
- Jarżyna J., Bała M., Zorski T., (1999): *„Metody geofizyki otworowej. Pomiar i interpretacja”*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo – Dydaktyczne, Wyd. II, Kraków;
- Kaiser G. (1994): *“A friendly guide to wavelets”*, Birkhäuser, Boston;
- Mallat S. (1989): "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation" IEEE Pattern Anal. and Machine Intell., vol. 11, no. 7, pp. 674-693;
- Misiti M, Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J-M., (2002) *“Wavelet toolbox for use with Matlab”*, The MathWorks Inc. User's Guide Online;
- Polikar R., (1995) *“The Wavelet Tutorial. Part IV: Multiresolution analysis: The Discrete Wavelet Transform”*; <http://engineering.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTtutorial.html> ;