

Izabela JÓZEFczyk

Politechnika Warszawska, Szkoła Nauk Technicznych i Społecznych, Płock

TRANSFORMATA FALKOWA W WIBROAKUSTYCZNEJ DIAGNOSTYCE TECHNICZNEJ

Słowa kluczowe

Sygnał, dyskretna transformacja falkowa, falka, falka macierzysta.

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wielorozdzielczą symulowanego sygnału wibroakustycznego. Celem analizy było określenie kryterium wyboru falki oraz głębokości dekompozycji w zależności od rodzaju zakłóceń wprowadzonych do sygnału wibroakustycznego. Artykuł przedstawia dekompozycje z zastosowaniem tylko tych falek, za pomocą których uzyskano najlepsze odzwierciedlenie zaprogramowanych informacji.

Wprowadzenie

Podczas funkcjonowania urządzenia technicznego zostają pobudzone strukturalne, kinematyczne i zużyciowe źródła, które zaburzają stany równowagi dynamicznej w ciałach stałych, cieczach i gazach, tworzących to urządzenie i jego otoczenie. Źródła zaburzeń są na ogół zlokalizowane w różnych, ważnych częściach urządzenia, takich jak wały, łożyska toczne i ślizgowe, ząbienia, przeguby, łopatki turbin i sprzęzerek itp. Sposób funkcjonowania źródeł, a w konsekwencji całego urządzenia, zależy od stanu technicznego tych części.

Zaburzenia generowane przez źródła propagowane na zewnątrz urządzenia i po drodze są poddawane wzajemnym sprzężeniom. Rezultat propagacji ujawnia się m.in. w postaci procesów wibroakustycznych, o skomplikowanej

strukturze częstotliwościowej, amplitudowej i fazowej. Są one dobrymi „dawcami” sygnałów diagnostycznych. Informacje o stanie technicznym urządzenia, zawarte w takim sygnale, są niejawne. Aby je ujawnić, należy wyznaczyć odpowiednią charakterystykę.

Dla prawidłowego odczytania informacji o urządzeniu, które są zawarte w charakterystykach, trzeba znać sposób ich wytwarzania, prezentacji i zakłócania. Dotyczy to w szczególności charakterystyk dyskretnych, uzyskanych na drodze obliczeniowej z numerycznej reprezentacji sygnału. Jedną z charakterystyk, często ostatnio wykorzystywanych dla celów diagnostyki, którą w praktyce można wyznaczyć tylko na drodze numerycznej, jest transformata falkowa. Można przyjąć, że sygnał diagnostyczny jest sumą $\vec{D} + \vec{N}$, gdzie \vec{D} składowa zdeterminowana, \vec{N} losowa. Postawiono hipotezę, że transformata falkowa oddziela \vec{D} od \vec{N} .

1. Ciągłe i dyskretne przekształcenie falkowe

Ciągłe przekształcenie falkowe (CWT) zaproponowane przez Marleta-Grossmana [3] dla jednowymiarowych sygnałów, zapisanych w postaci funkcji: $x(t) \in L^2(R)$, ma postać:

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

gdzie symbol „ $*$ ” oznacza sprzężenie dla funkcji zespolonej, a – parametr skali ($a > 0$), b – parametr przesunięcia (miejsca). Dla $a = 1$, $b = 0$ – $\Psi(t)$ jest falką macierzystą-podstawową.

Iloczyny skalarne sygnału $x(t)$ i ciągu funkcji $\Psi_{m,n}$ postaci:

$$a_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi_{m,n}(t) dt,$$

nazywa się współczynnikami falkowymi, zaś samo przekształcenie określane jest mianem dyskretnej transformaty falkowej.

Według pozycji [9] falką nazywamy funkcję: $\Psi(t) \in L^2(R)$ taką, że układ $\Psi_{m,n} = 2^{m/2} \Psi(2^m t - n)$, gdzie m i n to dowolne liczby całkowite, jest bazą ortonormalną w przestrzeni Hilberta $L^2(R)$. Według pozycji [1, 2] falka jest funkcją rzeczywistą o zerowej wartości średniej: $\Psi(t) \in L^2(R)$, $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0$ znormalizowana $\|\Psi\| = 1$ oraz scentrowana w sąsiedztwie $t = 0$.

Rodzina falek tworzona jest w oparciu o falę podstawową $\Psi(t)$. Zmiana „częstotliwości” jest realizowana przez parametr skalujący $a > 0$, natomiast przesunięcie przez parametr b . Najczęściej rodzinę falek generuje się za pomocą wzoru zaproponowanego przez Grosmanna i Marleta [3]:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \text{ gdzie mnożenie przez } a^{-1/2} \text{ normalizuje falę.}$$

Strömberg [3] zaproponował bazę opartą na systemie dwójkowym, tzn. $a = 2^{-m}$ oraz $b = 2^{-m} n$, gdzie m i n są odpowiednio dobranymi liczbami całkowitymi. Dyskretną zmienną m nazywa się rozdzielczością a zmienną n dyskretnym przesunięciem. Falki mają wtedy postać $\Psi_{m,n}(t) = 2^{m/2} \Psi(2^m t - n)$.

W procesie dyskretnej transformacji falkowej pobrany sygnał zostaje podzielony na tzw. aproksymację i detal. Aproksymacja zostaje poddana następnym podziałom na aproksymację i detal, zaś detali nie poddaje się dalszym podziałom. W ten sposób sygnał zostaje przedstawiony jako suma aproksymacji ostatniego poziomu i detali z wszystkich poziomów.

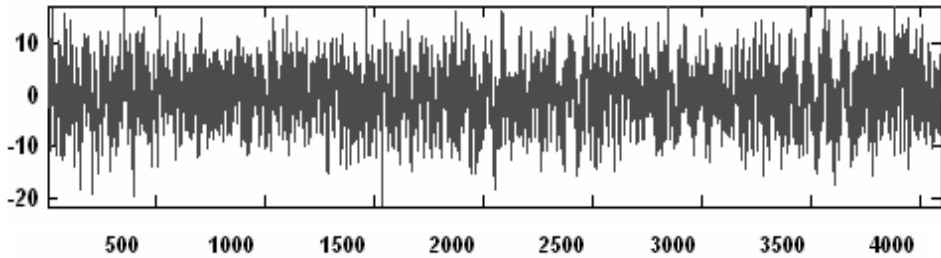
2. Eksperyment numeryczny

Eksperyment numeryczny polegał na poddaniu transformacji falkowej, modelu symulacyjnego sygnału składającego się z 4096 próbek. W tym modelu zaprogramowano znane z góry informacje częstotliwościowe, które w rzeczywistym sygnale mogą świadczyć o stanie urządzenia. Celem eksperymentu było zbadanie jak te informacje zostaną wytworzone i zaprezentowane w różnych charakterystykach falkowych i jakie przy tym powstaną zakłócenia

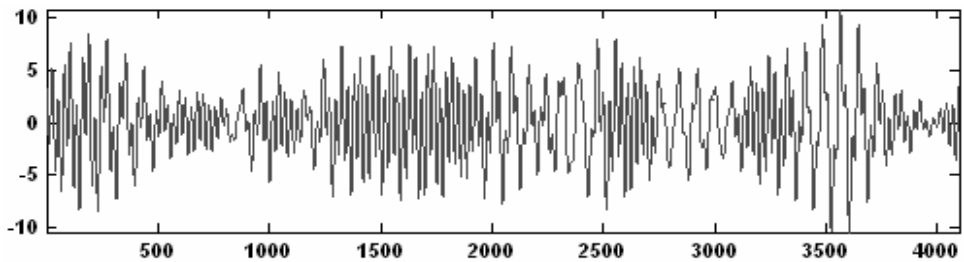
Model symulacyjny sygnału został wygenerowany zgodnie z założeniami i procedurą, przytoczonymi w pozycji [6] bibliografii. Przyjęto:

- fazę losową o rozkładzie jednostajnym z przedziału $[0, 2\pi]$,
- tło losowe o rozkładzie jednostajnym z przedziału $[0.1, 0.2]$,
- liczba pasm maksimów lokalnych: 2, centrum maksimów zadeklarowano odpowiednio: centrum 50 i 150, szerokość 20, wysokość 1 i brzeg 0,1. (rys. 1a)

Rzeczywisty sygnał składa się na ogół z dwóch części: zdeterminowanej i losowej. Zdeterminowana niesie informacje np. o istniejących uszkodzeniach, natomiast losowa – to wszelkiego rodzaju przypadkowe zakłócenia powstałe podczas funkcjonowania urządzenia. Dlatego w doświadczeniu potrzebny był także sygnał o parametrach jak w ww., ale z tłem zerowym. Jego wykres przedstawia rys. 1b.



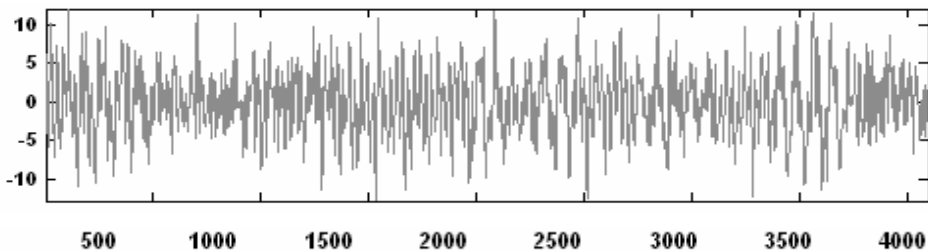
Rys. 1a. Model sygnału wibroakustycznego z tłem



Rys. 1b. Model sygnału wibroakustycznego bez tła

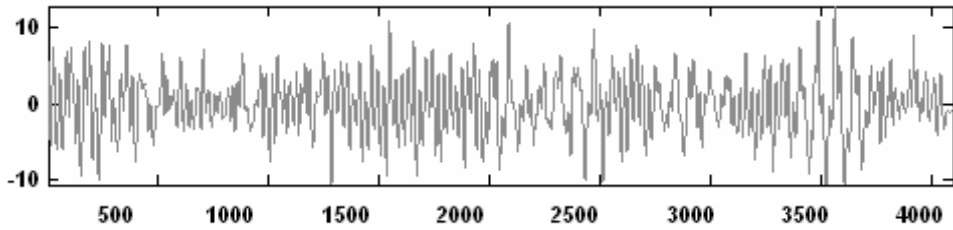
Sygnał z tłem poddano transformacji falkowej z wykorzystaniem różnych falek, a następnie policzono współczynnik korelacji sygnału po transformacji i sygnału z tłem zerowym.

Poniżej pokazano wykresy przedstawiające postać graficzną transformat odpowiednio dla następujących falek oraz współczynnik korelacji z sygnałem bez tła:



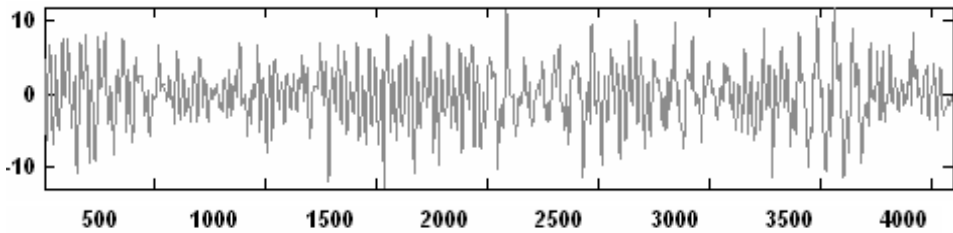
Rys. 2. Transformata falką dmey2

Uzyskany współczynnik korelacji 0,819948.



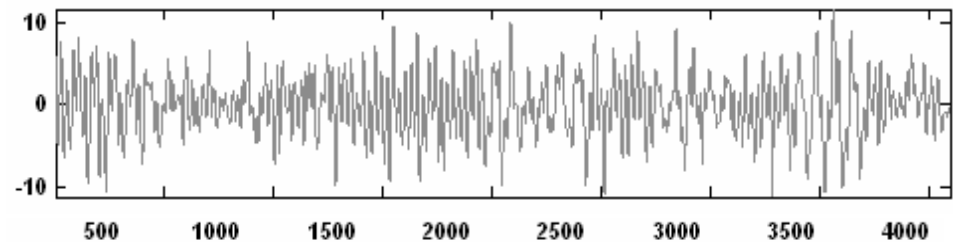
Rys. 3. Transformata falką dmey3

Uzyskany współczynnik korelacji 0,901687.



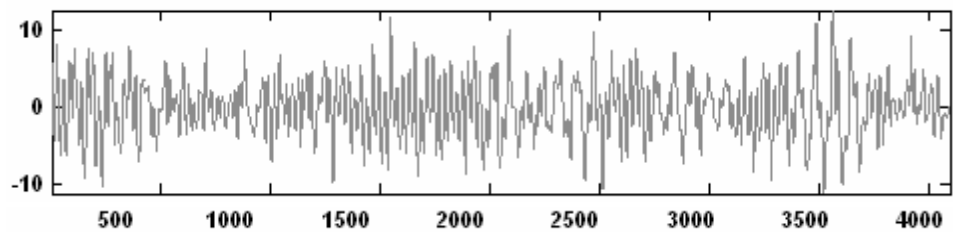
Rys. 4. Transformata falką sym43

Uzyskany współczynnik korelacji 0,893832.



Rys. 5. Transformata falką sym73

Uzyskany współczynnik korelacji 0,900754.



Rys. 6. Transformata falką db63

Uzyskany współczynnik korelacji 0,89792.

Powyższe przebiegi świadczą o tym, że procedura transformacji została zrealizowana prawidłowo. Początkowy współczynnik korelacji, który wynosił 0,569846 został znacznie poprawiony.

Z racji ograniczeń wynikających z wymogów dotyczących długości artykułów zaprezentowano tylko najlepsze wyniki. Badania wskazują, że zarówno wcześniejsze jak i dalsze poziomy dekompozycji przy użyciu ww. falek dają gorsze współczynniki korelacji.

Podsumowanie

Analizując powyższe wykresy oraz współczynniki korelacji można zauważyć, że przy dobrym doborze falki możemy wyeliminować tzw. szумы, co potwierdza dotychczas stawiane tezy.

Rezultaty dotychczasowych badań wskazują, że:

1. Transformata falkowa pozwala oddzielić składową zdeterminowaną \vec{D} sygnału od składowej losowej \vec{N} .
2. Dobór falki ma wpływ na zachowanie informacji zawartych w sygnale. Dobrze dobrana falka zachowuje wartości zdeterminowane, a odrzuca losowe.
3. Przebieg falki ma wpływ na dokładność prezentacji losowej części sygnału; falki o przebiegu nieciągłym (np. haara) gorzej prezentują przebieg ciągłego sygnału niż falki, które są ciągłe.
4. Ważne jest odpowiednie dobranie głębokości dekompozycji; na pewnym poziomie aproksymacja staje się mało dokładnym odzwierciedleniem sygnału.

Uzyskane rezultaty potwierdzają konieczność prowadzenia dalszych badań dla zróżnicowanej grupy sygnałów o znanych wartościach informacyjnych.

Bibliografia

1. Batko W., Ziółko M.: Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej. WIMiR, Kraków 2002.
2. Batko W., Mikulski A.: Nowe metody badawcze w rozpoznawaniu uszkodzeń lin stalowych. WIMiR, Kraków 2002.
3. Białasiewicz J.T.: Falki i aproksymacje. WNT, Warszawa 2000.
4. Józefczyk I.: Przydatność transformaty falkowej w diagnostyce urządzeń technicznych. Materiały konferencyjne XXXI Ogólnopolskiego Symposium Diagnostyki Maszyn-Węgierska Górka 2004.
5. Kwiatkowski W.: Podstawy systemów multimedialnych. Wybrane problemy przekształceń przetwarzania sygnałów. IAiR WC WAT 2000.

6. Kurowski W.: Dyskretne widmo Fouriera w diagnostyce wibroakustycznej. Wyd. Politechniki Białostockiej 1997, s. 186.
7. Murenzi R.: Wavelets. New York 1988.
8. Rosołowski E.: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w automatyce elektroenergetycznej. Exit 2002.
9. Wojtaszczyk P.: Teoria falek. PWN, Warszawa 2000.

Recenzenci:

Konrad WOJCIECHOWSKI

Leszek POWIERŻA

Discrete wavelet transform of select simulated vibro-acoustic signal

Summary

The paper presents multi-distributive analysis of simulated vibroacoustic signal. The aim of the analysis was defining the criterion of wavelet selection and intensity of the decomposition according to the type of noise added to the vibroacoustic signal. The article describes only those analyses by wavelets which appeared sufficiently good with respect to ordinary data.

