Izabela JÓZEFCZYK
Politechnika Warszawska w Płocku

TRANSFORMATA FALKOWA WYBRANYCH SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Słowa kluczowe

Sygnał, dyskretna transformacja falkowa, falka, falka macierzysta.

Streszczenie

W artykule przedstawiono dyskretną transformcję falkową (DWT) kilku sygnałów symulacyjnych z zastosowaniem falek, których użyteczność potwierdziły wcześniejsze badania. Przedmiotem badań były sygnały o znanej strukturze częstotliwościowej – wzorce oraz sygnały powstałe z wzorca poprzez dodanie tła losowego – zakłóceń. Te drugie poddawano transformacji falkowej, chcąc w ten sposób wyeliminować czynnik losowy. Przedstawiono głównie wyniki tych falek, które najlepiej odzwierciedlają zaprogramowane informacje. Uzyskane rezultaty wskazują na konieczność dobrego doboru falki (najlepsze wyniki uzyskano dla falki dmey) oraz kryterium stopu.

Wprowadzenie

Wytwarzane obecnie urządzenia mechaniczne muszą mieć własności zapewniające efektywne wykonywanie złożonych zadań eksploatacyjnych. Uzyskanie tych własności i zapewnienie ich trwałości osiąga się podejmując działania mające na celu, z jednej strony możliwie dokładne poznanie urządzenia, a z drugiej ciągłe ulepszanie procesów wartościowania, konstruowania, wytwarzania i eksploatacji.

Poznanie urządzenia polega na zbieraniu informacji o jego własnościach, stanie technicznym oraz zachodzących w nim procesach i związkach. Wymaga stosowania efektywnych metod badań oraz prawidłowego przetwarzania danych i interpretowania otrzymanych rezultatów.

Informacje te zawarte są w sygnałach diagnostycznych, lecz są zakodowane. Aby je odczytać, sygnał należy pobrać i odpowiednio obrobić. Pobranie polega na obserwacji i rejestracji wybranej realizacji czasowej. Obróbka zaś polega na przetworzeniu jej do takiej postaci, która ułatwi odczytanie zakodowanych informacji.

Rezultatem obróbki są najczęściej estymaty jednej lub kilku charakterystyk statystycznych, wyznaczonych dla pobranego sygnału [7]. Informacje o stanie i własnościach urządzenia, zawarte w tych estymatach, są również zakodowane, ale przy pewnej wiedzy i doświadczeniu badacza są one możliwe do odczytania.

Ostatnio dla uzyskania informacji diagnostycznych stosowane są estymaty charakterystyk falkowych. Te estymaty mają postać numeryczną, a informacje o badanym urządzeniu są w nich wytwarzane i prezentowane inaczej niż w estymatach ciągłych, uzyskiwanych w rezultacie bezpośredniego pomiaru [1, 6–8].

1. Cel i zakres badań

Celem pracy jest rozpoznanie, jak informacje zawarte w sygnale diagnostycznym (w szczególności w sygnale wibroakustycznym) są wytwarzane i prezentowane w estymatach charakterystyki falkowej.

Dla realizacji celu badań postawiono przy tym następującą hipotezę: jeśli sygnał diagnostyczny, traktowany jako suma $\vec{D} + \vec{N}$, składowej zdeterminowanej $\vec{D}$ oraz losowej $\vec{N}$, zostanie poddany transformacji falkowej, z użyciem odpowiedniej falki i na odpowiednim poziomie dekompozycji, to taka operacja pozwoli na separację tych składowych [5].

Praktyka podpowiada, że składowa zdeterminowana $\vec{D}$ niesie informacje o niedokładnościach wykonania i montażu oraz zużyciu powierzchniowym i objętościowym urządzenia. Mimo że te wielkości są dziełem przypadku, to ich istnienie i informacje o nich są zdeterminowane. Ponieważ postępowanie diagnostyczne ma przeważnie na celu pozyskanie tych informacji, to separacja $\vec{D}$ od $\vec{N}$ może ułatwić obróbkę sygnału i ich zdekodowanie.

Składowa losowa – $\vec{N}$ niesie informacje o szumach i zakłóceniach występujących podczas funkcjonowania urządzenia. Mimo że wartościowe informacje diagnostyczne mogą być zawarte również w tej składowej, to jest ona na ogół pomijana i separacja ma charakter filtrowania $\vec{N}$ od $\vec{D}$. Do takiej realizacji separacji można wykorzystać przekształcenie falkowe.

Próbowano odpowiedzieć na pytanie: jaka falka i na jakim poziomie dekompozycji jest najbardziej użyteczna ze względu na ujawnienie i zaprezentowanie poszukiwanych informacji.

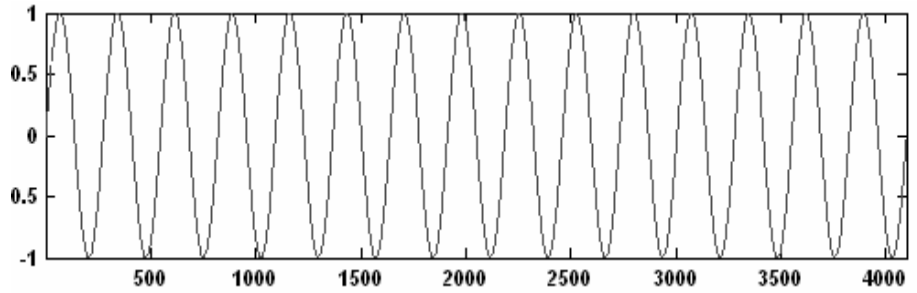
Przedmiotem obróbki falkowej był model diagnostycznego sygnału wibroakustycznego wytwarzany każdorazowo z odpowiednio zaprogramowanego widma częstotliwościowego. W tym widmie składowa zdeterminowana sygnału $\vec{D}$, która z założenia niesie poszukiwane informacje, była odwzorowywana przez lokalne maksima amplitudy, składające się z różnych fal harmonicznych o określonych amplitudach i kątach fazowych. Składowa losowa $\vec{N}$ była odzwierciedlona przez losowe tło i kąt fazowy. Tak przyjęta procedura modelowania sygnału pozwalała oddzielnie obserwować wpływ przekształcenia falkowego na składową zdeterminowana i losową [5].

2. Eksperymenty symulacyjne

Sygnały wygenerowane z widm składających się z maksimów lokalnych z tłem zerowym i zerową fazą odzwierciedlały składową zdeterminowaną. Natomiast takie same sygnały po dodaniu tła o jednostajnym rozkładzie prawdopodobieństwa amplitudy, z przedziału [0,1; 0,2] oraz kąta fazowego o jednostajnym rozkładzie prawdopodobieństwa z przedziału [0; 2π], w stosunku do składowej zdeterminowanej, odzwierciedlały sygnał składający się ze składowej zdeterminowanej i losowej. Tło i kąty fazowe, losowe w modelu sygnału uzyskiwano generując ich wartości z generatora liczb losowych. Sygnały z losowym tłem i fazą, poddano transformacji falkowej z użyciem różnych falek. W oparciu o uzyskane współczynniki transformacji falkowej, a dokładniej o wyniki dekompozycji, z aproksymacji odtwarzano sygnał w części, którą uznano za składową zdeterminowaną, a następnie liczono współczynnik korelacji tego sygnału i części zdeterminowanej modelu symulacyjnego. Zestawienie wyników przekształcenia falkowego ze współczynnikiem korelacji tych dwóch wielkości, miało potwierdzić bądź zaprzeczyć hipotezie, że przekształcenie falkowe dokonuje separacji składowej $\vec{D}$ od $\vec{N}$, a jeśli tak, to w jakim stopniu [5].

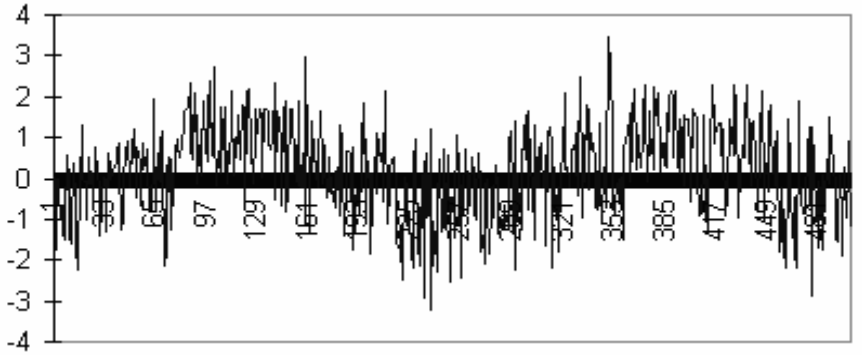
2.1. Eksperyment 1

Celem eksperymentu jest znalezienie najbardziej użytecznej falki do dekompozycji modelu sygnału diagnostycznego. Dla tak określonego zadania wygenerowano sygnał bez tła, który będzie traktowany jako zdeterminowana składowa sygnału; jego przebieg przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Sygnał bez tła (S)

Następnie do tego samego sygnału dodano tło losowe z przedziału [0,1; 0,2], które będzie odzwierciedlać część losową tego sygnału; fragment przebiegu tego sygnału S1 pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Fragment sygnału z tłem losowym z przedziału [01, 02] (S1)

Sygnał z tłem poddano transformacji falkowej z użyciem różnych falek na różnych poziomach dekompozycji. Korzystano z wybranych falek dostępnych w programie Matlab. O ich wyborze decydowały wyniki wcześniejszych badań. Uzyskany po transformacji sygnał porównano z sygnałem bez tła i policzono współczynniki korelacji. Przykładowe wyniki przedstawiono w tabeli 1. W pierwszym wierszu tabeli został zamieszczony współczynnik korelacji sygnału z tłem i bez tła (czyli przed przystąpieniem do transformacji falkowej), a w następnych współczynniki korelacji określające podobieństwo sygnału z tłem, który poddano przekształceniu falkowemu przy zastosowaniu różnych falek z tym samym sygnałem, ale bez tła. Współczynnik korelacji wskazuje, że

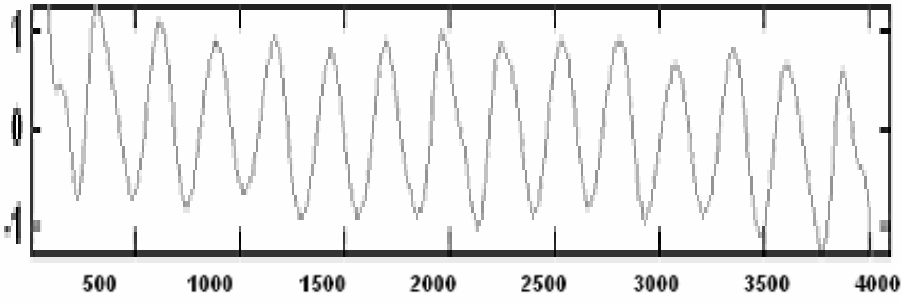
największe podobieństwo z zaprogramowanym wzorcem uzyskał sygnał poddany transformacji falkowej falką tzw. „Dyskretną Meyera" oznaczaną dmey na 6 poziomie dekompozycji. Rezultat przekształcenia sygnału z tłem, przy wykorzystaniu tej falki, przedstawiono na rysunku 3.

Tabela 1. Współczynniki korelacji dla sygnału S1

Współczynnik korelacji	**Falka**
0,291354	z tłem i bez
0,597104	dmey6
0,449942	db66
0,472055	db65
0,466743	db76
0,549755	haar6
0,456891	sym23
0,457883	coif1,6
0,396251	coif2,6
0,477668	bior2,26
0,510475	rbio1,56
0,468155	dmey5
0,524155	dmey7

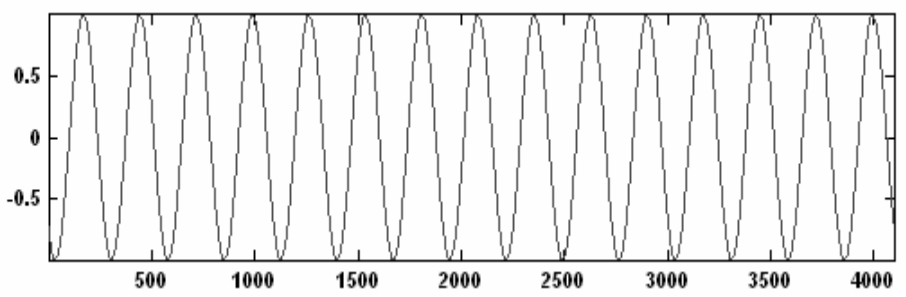
Tabela 2. Współczynniki korelacji dla sygnału S3

Współczynnik korelacji	**Falka**
0,14359668	z tłem i bez
0,763226651	db6,6
-0,033971034	db610
0,73742787	sym46
0,552284069	sym47
0,759519989	sym56
0,75963947	coif56
0,620968165	bior6,87
0,599594483	rbior2,87
0,758649473	dmey6
0,723133122	dmey7



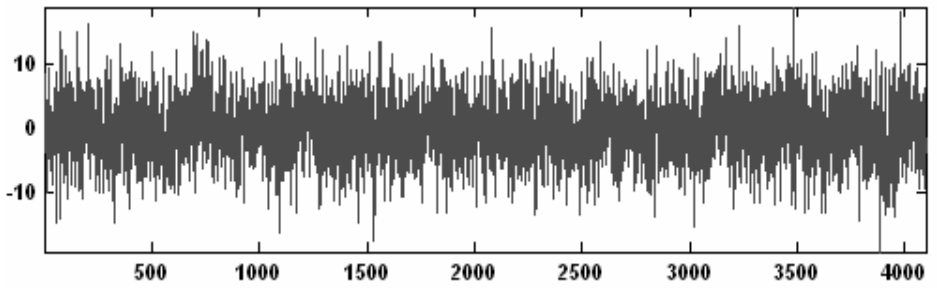
Rys. 3. Transformacja sygnału S1 falką dmey6

Następnie w sygnale S zmieniono fazę na losową, o rozkładzie jednostajnym z przedziału [0; 2π]. Dla tej fazy wygenerowano sygnał S2 z tłem zerowym przedstawiony na rysunku 4; przebieg tego sygnału w stosunku do sygnału na rysunku 1 różni się tylko przesunięciem fazowym.



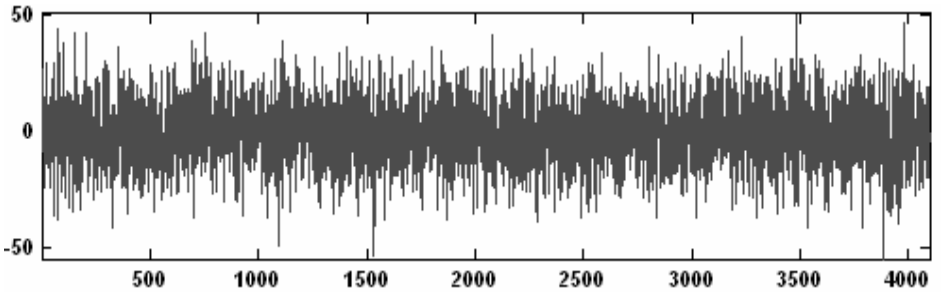
Rys. 4. Sygnał S2 bez tła z fazą losową z przedziału [0, 2π]

Do sygnału S2 dodano tło o losowym przebiegu amplitudy, z przedziału [0,1;0,2] uzyskano sygnał S3, przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Sygnał S3 z fazą losową z przedziału [0, 2π] i tłem z przedziału [0.1,0.2]

Następnie w sygnale S2, który jest pokazany na rysunku 4, zmieniono tło na losowe o rozkładzie z przedziału [0,3;0,55], uzyskując sygnał S4, przedstawiony na rysunku 6. Ten sygnał różni się od sygnału z rysunku 5 tylko intensywnością tła losowego.



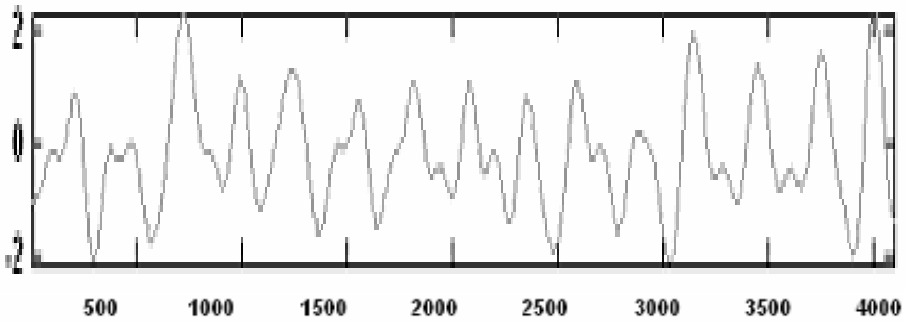
Rys. 6. Sygnał S4 z fazą losową z przedziału [0, 2π] i tłem z przedziału [0.3, 0.55]

Sygnały z fazą i tłem losowym poddano takiej samej obróbce jak poprzednio sygnał S1. W rezultacie porównania, dla sygnału S3, uzyskano współczynniki korelacji zamieszczone w tabeli 2, zaś współczynniki korelacji dla sygnału S4 w tabeli 3:

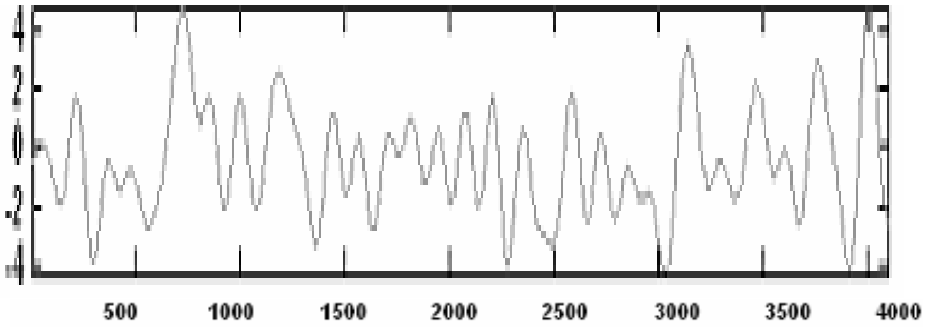
Tabela 3. Współczynniki korelacji dla sygnału S4

Współczynnik korelacji	**Falka**
0,051862	z tłem i bez
0,723133	dmey6
0,390116	db66

Najlepsze rezultaty przekształcenia falkowego tych sygnałów są pokazane na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Transformacja sygnału S3 falką dmey6

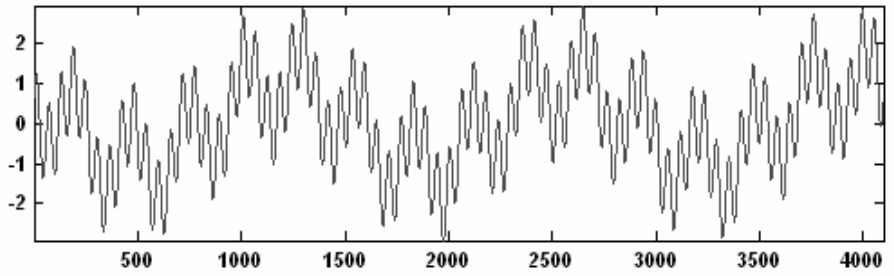


Rys. 8. Transformacja sygnału S4 falką dmey6

2.2. Eksperyment 2

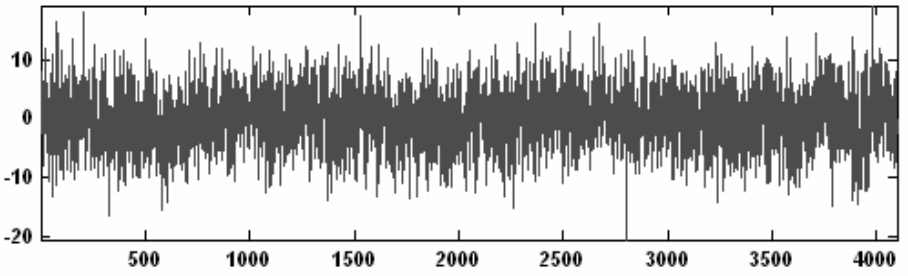
Rezultaty uzyskane z eksperymentu 1 potwierdzają hipotezę mówiącą o tym, że przekształcenie falkowe powoduje oddzielenie zdeterminowanej składowej sygnału diagnostycznego $\vec{D}$ od składowej losowej $\vec{N}$. Dotyczy to

w szczególności sygnałów, w których składowa losowa jest znacząca (zwłaszcza sygnałów o fazie losowej z przedziału [0, 2π]). Dla lepszego udokumentowania prawdziwości tej obserwacji wygenerowano i zbadano, pokazany na rysunku 9, sygnał P z fazą losową o rozkładzie jednostajnym z przedziału [0, 2π] oraz tłem zerowym, w którym zadeklarowano trzy pasma.

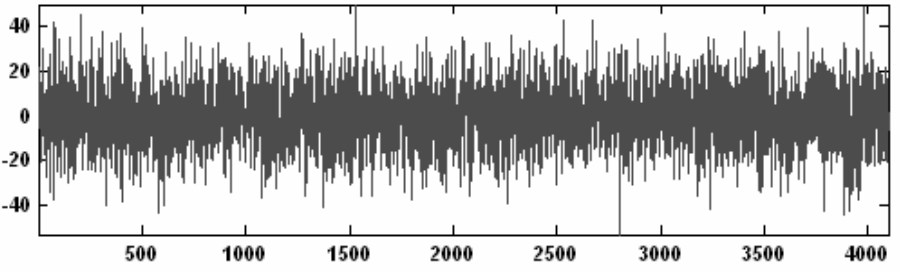


Rys. 9. Sygnał P bez tła

Do zdeterminowanego sygnału, który jest rezultatem superpozycji trzech fal harmonicznych o losowym przesunięciu fazowym, dodano tło losowe z przedziału [0,1; 02], następnie tło losowe z przedziału [0,3; 0,55] i uzyskano sygnały z losowym tłem i losową fazą – odpowiednio P1 i P2; przebiegi tych sygnałów zostały przedstawione na rysunkach 10 i 11.



Rys. 10. Sygnał z tłem losowym z przedziału [0,1; 02] (P1)



Rys. 11. Sygnał z tłem losowym z przedziału [0.3; 0.55] (P2)

Uzyskane sygnały poddano przekształceniu falkowemu. Zastosowano tylko falkę dmey dokonując przekształcenia na różnych poziomach. Po wyznaczeniu sygnałów odpowiadających kolejnym poziomom dekompozycji, wyznaczono współczynniki korelacji podobnie jak w poprzednim eksperymencie. Rezultaty zamieszczono w tabeli 4 dla sygnału z tłem z przedziału [0,1; 02] i w tabeli 5 – dla sygnału z tłem z przedziału [0,3; 0,55].

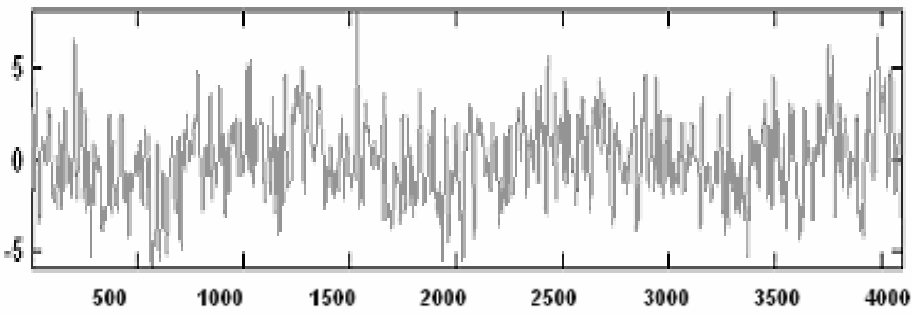
Tabela 4. Współczynniki korelacji dla sygnału P1

Współczynnik korelacji	Falka
0,2439	z tłem i bez
0,7139	dmey3
0,6679	dmey4
0,7084	dmey5
0,7123	dmey6
0,4478	dmey7

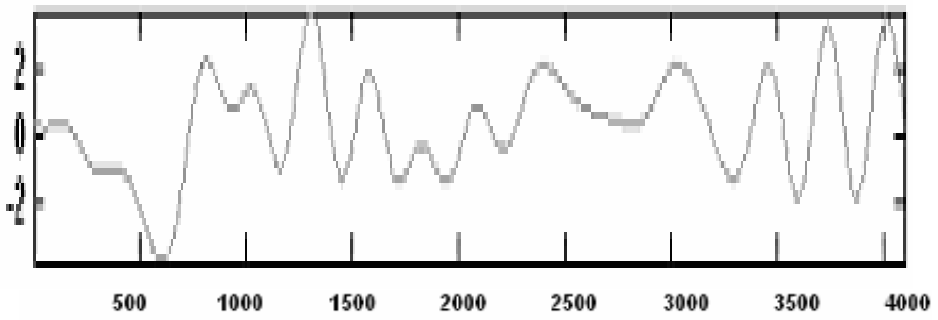
Tabela 5. Współczynniki korelacji dla sygnału P2

Współczynnik korelacji	Falka
0,0896	z tłem i bez
0,1763	dmey2
0,2481	dmey3
0,3422	dmey4
0,3546	dmey5
0,4401	dmey6

Na rysunkach 12 i 13 przedstawiono przebiegi uzyskane z przekształceń falkowych sygnału P1 na trzecim poziomie dekompozycji i sygnału P2 na siódmym poziomie dekompozycji.



Rys. 12. Transformacja sygnału P1 falką dmey3



Rys. 13. Transformacja sygnału P2 falką dmey7

Podsumowanie

Przeprowadzone eksperymenty wykazują, że dobór przebiegu falki do własności i przebiegu sygnału jest bardzo ważny dla określenia składowej zdeterminowanej i przynajmniej częściowego oddzielenia składowej losowej. Okazuje się, że w przypadku modelu sygnału wibroakustycznego jedną z najbardziej przydatnych do tego celu jest falka dmey, a także falki z rodziny Daubechies. Można również zauważyć, że im mniejsze jest tło losowe, tym wyższe są wartości współczynnika korelacji. Okazuje się, że za pomocą przekształcenia falkowego łatwiej jest wyeliminować mały czynnik losowy niż duży.

Badania zaprezentowane w eksperymencie 2 również potwierdzają hipotezę o własnościach przekształcenia falkowego. Dodatkowo można zauważyć, że skuteczność filtrowania rośnie wraz ze wzrostem poziomu dekompozycji, ale ten wzrost nie jest nieskończony. Powyżej pewnego poziomu podobieństwo sygnału odfiltrowanego do oryginału zaczyna maleć.

Okazuje się również, że dla sygnałów z fazą losową o rozkładzie jednostajnym z przedziału $[0, 2\pi]$, uzyskano lepsze wyniki korelacji niż dla sygnałów z fazą 0. Uzasadnienie tego spostrzeżenia wymaga dalszych badań.

Prace nad wykorzystaniem transformacji falkowej do badań diagnostycznych i zastosowaniem poczynionych uwag i wniosków są nadal prowadzone. W przygotowaniu jest kolejna publikacja dotycząca tej tematyki.

Bibliografia

1. Augustyniak P.: Transformacje falkowe w zastosowaniach elektrodiagnostycznych, AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne Kraków 2003.
2. Józefczyk I., Kurowski W., Pankowski A.: Badania charakterystyk sygnałów diagnostycznych. Diagnostyka vol. 27, 2002, 116–124.
3. Józefczyk I.: Dyskretna Transformata Falkowa dla wybranego modelu symulacyjnego sygnału wibroakustycznego. Diagnostyka vol. 34 2005, 137–141.
4. Józefczyk I.: Transformata falkowa w wibroakustycznej diagnostyce technicznej. Problemy eksploatacji 1/2006, 7–13.
5. Józefczyk I. Przekształcenie falkowe sygnału diagnostycznego emitowanego przez urządzenie mechaniczne. Rozprawa doktorska PW WBMiP, Płock 2006.
6. Kurowski W.: Dyskretne widmo Fouriera w diagnostyce wibroakustycznej. Politechnika Białostocka. Rozprawy Naukowe Nr 50, Białystok 1995.
7. Kurowski W.: Teoria informacji dla inżynierów. Wyd. Wyższej Szkoły-Agrobiznesu w Łomży, Łomża 2000.

8. Żółtowski B., Cempel Cz. i inni: Inżynieria Diagnostyki Maszyn. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej. Instytut Technologii Eksploatacji PIB Radom. Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.

Recenzent:
Wojciech BATKO

Discrete wavelet transform of select diagnostic signals

Key words

Signal, discrete wavelet transform, wavelet, mother wavelet.

Summary

The paper presents the discrete wavelet transform (DWT) of a few simulated signals using wavelets whose usefulness was confirmed by earlier studies. The subjects of the examination were pure signals of known frequency and signals distorted with random noise. The latter were put under discrete wavelet transformation in order to eliminate the influence of random noise. Only those results which show programmed information in the best way were presented. The obtained results point at the necessity of good selection of wavelet and stop criterion. The best results were achieved using dmey wavelet.