

IDENTYFIKACJA STANU TECHNICZNEGO NA PODSTAWIE ANALIZY TRAJEKTORII STANU W PRZESTRZENI CECH GŁÓWNYCH

Marek FIDALI

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18 a, 44-100 Gliwice, fax: (32) 237-13-60 , e-mail: mfidali@polsl.pl

Streszczenie

Dysponując danymi uczącymi zarejestrowanymi podczas działania obiektu w różnych chwilach czasu „makro” oraz w różnych stanach technicznych, możliwe jest wyznaczenie przekształcenia przestrzeni wartości cech do przestrzeni wartości cech głównych. Posiadając parametry przekształcenia, można wyznaczyć wartości cech głównych w dowolnych chwilach czasu „makro”. Pozwala to na wyznaczenie trajektorii wartości cech głównych w dziedzinie czasu „makro” w oparciu o nowe, wcześniej nie analizowane dane pochodzące z badanego obiektu lub obiektu tej samej klasy. Wyznaczone trajektorie mogą być cennym źródłem informacji o zachodzących zmianach stanu technicznego maszyny podczas jej eksploatacji.

Słowa kluczowe: diagnostyka, maszyna wirnikowa, przestrzeń wartości cechy, trajektorie

IDENTIFICATION OF TECHNICAL STATE ON THE BASIS OF ANALYSIS OF STATE TRAJECTORY IN EIGENSPACE

Summary

Learning data obtained during machine operation in different moments of “macro” time and with taking into account different technical states make it possible to obtain transformation of a space of feature values of observed signals to the eigenspace of feature values. Basing on parameters of this transformation it is possible to obtain feature eigenvalues in any moment of “macro” time. It allows us to determine feature eigenvalues trajectory in “macro” time domain on the basis of new data which was previously unanalyzed and was taken from investigated object. Determined trajectories can be an important source of information about technical state of a machine.

Keywords: diagnostics, rotating machinery, feature values space, trajectories

1. WSTĘP

W diagnostyce technicznej maszyn stosowane są pojęcia czas „mikro” t i czas „makro” θ [1],[2]. Pojęcia te umożliwiają rozpatrywanie „szybko zmieniających się” wartości chwilowych sygnałów, zależnych od „wolno zmieniających się” stanów technicznych obiektu. Pozwala to na przyjęcie następującego założenia:

$$\xi = t + \theta \quad (1)$$

gdzie: ξ – czas rzeczywisty

Wartości chwilowe sygnałów diagnostycznych rozpatrywane są na dostatecznie krótkich odcinkach czasu „mikro” pozwalających na przyjęcie stałej wartości czasu „makro”, tzn.:

$$x(\xi) = x(t + \theta) = x(t)|_{\theta} \quad (2)$$

Założenie o „wolno zachodzących zmianach” stanu pozwala na uznanie, że stan s nie zależy od czasu „mikro” t . Jest on jedynie funkcją czasu „makro” θ

$$s(t + \theta) = s(\theta) \quad (3)$$

Rozkład (1) czasu rzeczywistego ξ na składniki t i θ jest oczywiście niejednoznaczny, pozwala jednak na przyjęcie odpowiedniej interpretacji znaczeń pojęć czasu „mikro” i czasu „makro”.

Wynikiem obserwacji obiektu w ustalonej chwili czasu „makro” θ są przebiegi zmian chwilowych wartości sygnałów zachodzących w czasie „mikro”, dla których wyznaczane mogą być wartości cech sygnałów. Wyznaczone wartości cech sygnałów nie zależą już od czasu „mikro”, są jedynie funkcjami czasu „makro” $v_i(\theta_j)$. Na podstawie tak wyznaczonych wartości cech sygnałów mogą być wyznaczane wartości cech stanu $s(\theta_j)$ obiektu. Wynikiem obserwacji obiektu w kolejnej chwili czasu „makro” θ_{j+1} będą wartości cech sygnałów w tej chwili $v_i(\theta_{j+1})$. Obserwacja obiektu w kolejnych ustalonych chwilach czasu „makro” ..., θ_j , θ_{j+1} , ...

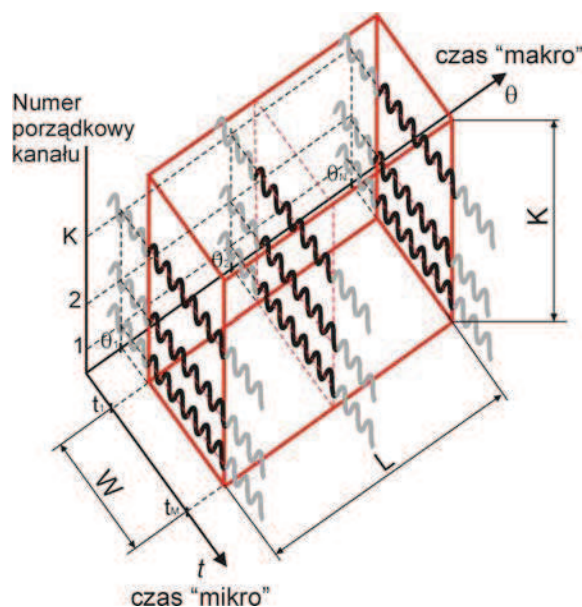
umożliwia pozyskanie informacji o historii zmian wartości cech sygnałów, a zatem również historii zmian stanu technicznego. Uwzględnienie czasu jako czynnika porządkującego umożliwia dynamiczne przedstawienie historii stanu i eksploatacji obiektu jako pewnego rodzaju trajektorii w przestrzeni stanów [2].

2. UOGÓLNIONE OKNO DANYCH I DODATKOWE SYGNAŁY POMOCNICZE

Dla określenia sformalizowanej metody wyznaczania cech (również łącznych) sygnałów diagnostycznych umożliwiających opisanie trajektorii w przestrzeni stanów wprowadzono [5] uogólnione okno danych, pozwalające na odwzorowanie zmian wartości cech sygnałów diagnostycznych obserwowanych jednocześnie w k kanałach pomiarowych w czasie „mikro” i w ustalonych chwilach czasu „makro”.

Uogólnione okno danych (rys. 1.) charakteryzują następujące cechy:

- wysokość K - związana z liczbą kanałów, w których sygnały obserwowane są jednocześnie,
- szerokość W - związana z czasem trwania obserwacji sygnałów w czasie „mikro”,
- głębokość L - dotycząca czasu trwania lub liczby obserwacji obiektu w czasie „makro”.



Rys. 1. Kształt uogólnionego okna danych

Aby rozszerzyć możliwość stosowania proponowanej koncepcji uogólnionego okna danych, wprowadzono [5] nowe sygnały, w dalszym ciągu nazywane dodatkowymi sygnałami pomocniczymi. Dodatkowe sygnały pomocnicze wyznaczone są na podstawie wartości sygnałów opisanych w chwilach czasu „mikro”, co nie znaczy, że musi to być ta sama dziedzina czasu „mikro”. Dziedzina czasu „mikro” dla dodatkowych sygnałów pomocniczych może być

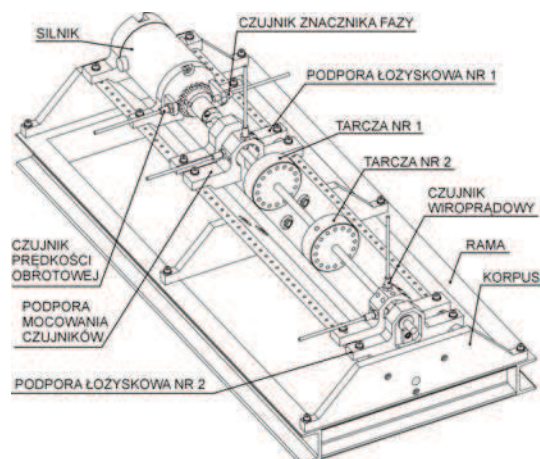
określona np. przez wartości opóźnień czasowych $\tau = \Delta t = t_{i+1} - t_i$, przy których określone są wartości funkcji korelacji wzajemnej dwóch sygnałów. Zatem w myśl powyższych rozważań funkcja korelacji wzajemnej wyznaczona na podstawie dwóch dowolnych sygnałów obserwowanych może być traktowana jako dodatkowy sygnał pomocniczy. Sygnałami pomocniczymi mogą być również funkcje w dziedzinie częstotliwości. Sygnały pomocnicze mogą stanowić podstawę do wyznaczenia innych sygnałów pomocniczych. Przykład takiego postępowania można znaleźć m. in. w [5]. Określenie sposobu wyznaczania dodatkowych sygnałów pomocniczych jest najczęściej wynikiem badań heurystycznych, prowadzonych indywidualnie przez badacza i wymaga uwzględnienia własności i właściwości rozpatrywanych obiektów.

3. WYZNACZANIE TRAJEKTORII W PRZESTRZENI WARTOŚCI CECH GŁÓWNYCH

Aby wyznaczyć trajektorię w przestrzeni wartości cech głównych zaproponowano metodę, która wymaga przeprowadzenia szeregu działań omówionych poniżej.

3.1. Przeprowadzenie eksperymentu diagnostycznego

Przeprowadzono czynny eksperyment diagnostyczny w Laboratorium Diagnostyki Technicznej Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn na stanowisku wyposażonym m.in. w model maszyny wirnikowej RotorKit (rys. 2) oraz wielokanałowy układ przetwarzania i analizy sygnałów. Eksperyment umożliwił pozyskanie zbioru danych uczących, niezbędnego do wyznaczania przekształcenia przestrzeni wartości cech do przestrzeni wartości cech głównych oraz zbioru danych testujących służącego do wyznaczenia trajektorii w przestrzeni wartości cech głównych. Danymi były sygnały wielokanałowe zarejestrowane w różnych chwilach czasu „makro” działania tego obiektu.



Rys. 2. Obiekt poddawany badaniom

Podczas realizacji czynnego eksperymentu diagnostycznego na badanej maszynie symulowano m.in. następujące niesprawności:

- S_1 – sprawny,
- S_2 - lekkie przycieranie,
- S_3 - niewyważenie statyczne,
- S_4 - niewyważenie momentowe.

Zbiór danych uczących obejmował 96 przykładów (po 24 przykłady dla każdego stanu), natomiast zbiór danych testujących zawierał 64 przykłady (po 16 dla każdego ze stanów)

3.2. Określenie zbioru sygnałów obserwowanych oraz zbioru sygnałów pomocniczych

Podczas badań obserwowano i rejestrowano sygnały jednocześnie w pięciu kanałach pomiarowych. Określono zbiór sygnałów obserwowanych $\mathbf{X}(t) = \{x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t)\}$, gdzie sygnały $x_1(t)$ i $x_2(t)$ opisywały trajektorię środka czopa w pierwszej podporze łożyskowej, sygnały $x_3(t)$ i $x_4(t)$ opisywały trajektorię środka czopa w drugiej podporze łożyskowej, natomiast sygnał $x_5(t)$ pochodził z czujnika znacznika wyróżnionego położenia kąтового wału.

Na podstawie sygnałów należących do zbioru sygnałów obserwowanych \mathbf{X} wyznaczono m.in. zbiór $\mathbf{U}(t) = \{u_{1,2}(t), u_{3,4}(t)\}$, zawierający sygnały opisujące zmiany wartości promieni trajektorii środka czopa w łożyskach badanej maszyny i zbiór $\mathbf{RU}\Phi(\tau) = \{ru\phi_{1,2-3,4}(\tau), ru\phi_{1,2-5}(\tau), ru\phi_{3,4-5}(\tau)\}$, zawierający funkcje korelacji wzajemnych sygnałów ze zbioru \mathbf{U} i sygnału $x_5(t)$:

3.3. Określenie zbioru rozpatrywanych cech i wyznaczenie m wymiarowej przestrzeni wartości cech.

Zbiorem cech, które posłużyły do oceny rozpatrywanych sygnałów, był zbiór 16 powszechnie znanych i stosowanych w diagnostyce wymiarowych i bezwymiarowych cech punktowych, np. wartość średniokwadratowa, wartość skuteczna, wariancja, wartość szczytowa dodatnia, współczynnik kształtu, kurtoza itp.

Ponadto do oceny dodatkowych sygnałów pomocniczych, należących do zbioru $\mathbf{RU}\Phi$, zaproponowano ograniczony zbiór cech punktowych, zawierający takie cechy jak: wartość szczytowa dodatnia, opóźnienie, przy którym występuje wartość szczytowa dodatnia, wartość, przy której funkcja korelacji wzajemnej uzyskuje 50% wartości oraz opóźnienie, przy którym występuje wartość połowkowa korelacji.

3.4. Ograniczenie wymiarów przestrzeni wartości cech

Rozpatrywane zbiory sygnałów obserwowanych i sygnałów pomocniczych należące do zbioru danych uczących poddano ocenie i wyznaczono

wielowymiarowe przestrzenie wartości cech V^m . W celu zmniejszenia liczby wymiarów uzyskanych przestrzeni ograniczono liczbę ich wymiarów poprzez przekształcenie m wymiarowej przestrzeni wartości cech punktowych w n wymiarową przestrzeń wartości cech głównych G^n .

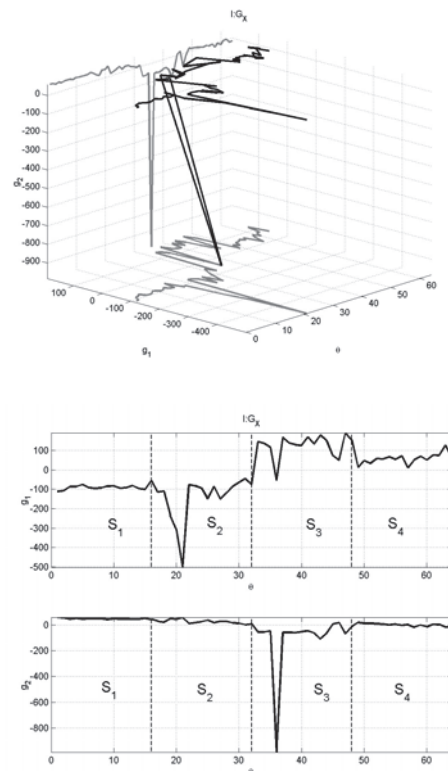
Przestrzeń wartości cech głównych G^n charakteryzuje się tym, że jej osie są osiami głównymi rozpatrywanego zbioru punktów w przestrzeni wartości rozpatrywanych cech V^m .

W celu optymalizacji przestrzeni wartości cech posłużono się metodami opartymi na analizie dyskryminacyjnej [6],[7]. Dla potrzeb badań przyjęto, że poszukiwanie optymalnej przestrzeni wartości cech będzie oparte na rozszerzonym kryterium Fishera.

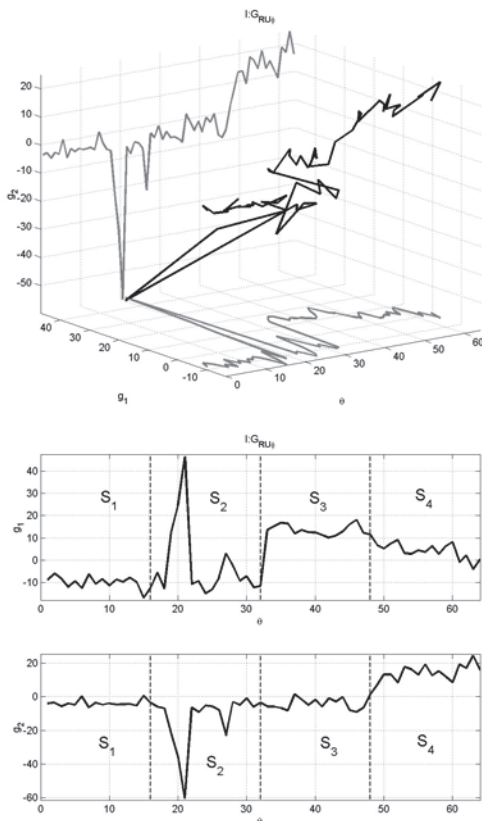
Przyjęto, że przekształcenie przestrzeni wartości cech do przestrzeni wartości cech głównych nie jest zależne od czasu "makro". Dysponując parametrami przekształcenia, można wyznaczyć wartości cech głównych w dowolnych chwilach czasu "makro" (dowolnych przekrojach uogólnionego okna danych). Pozwala to na wyznaczenie trajektorii wartości cech głównych w dziedzinie czasu "makro".

3.5. Określenie trajektorii w ograniczonej przestrzeni wartości cech głównych

Opierając się na określonych przekształceniach przestrzeni wartości cech do przestrzeni wartości cech głównych, na podstawie zbioru danych testujących, wyznaczono trajektorie w przestrzeni wartości cech głównych G_X^2 i $GO^2_{RU\Phi}$.



Rys. 3. Trajectoria w przestrzeni wartości cech głównych G_X^2 oraz jej rzuty na płaszczyzny $\theta-g_1$ i $\theta-g_2$



Rys. 4. Trajektoria w przestrzeni wartości cech głównych $G^2_{RU\phi}$ oraz jej rzuty na płaszczyzny $\theta-g_1$ i $\theta-g_2$

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przebiegi trajektorii dla przestrzeni wartości cech głównych G^2_X i $G^2_{RU\phi}$ oraz rzuty tych trajektorii na płaszczyzny $\theta-g_1$ i $\theta-g_2$, na których zaznaczono obszary wskazujące przedziały czasu "makro" występowania rozpatrywanych stanów technicznych.

Na podstawie wykresów przedstawiających rzuty trajektorii na płaszczyzny $\theta-g_1$ i/lub $\theta-g_2$ możliwe jest zidentyfikowanie wystąpienia stanów technicznych oraz chwil, w których następuje zmiana stanu.

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy przebiegów trajektorii w przestrzeni wartości cech głównych możliwe było zidentyfikowanie występowania zmian lokalnych w obrębie każdego z rozpatrywanych stanów oraz zmian dotyczących przejścia jednego ze stanów w drugi. Taki sposób analizy w głównej mierze uzależniony jest od intuicji i subiektywnych odczuć badacza. Wydaje się celowe poddanie analizie przebiegów wartości cech głównych opisujących trajektorię z zastosowaniem metod analizy sygnałów, w tym metod łącznej analizy sygnałów. Można się spodziewać, że wykorzystanie tych metod dla potrzeb analizy przebiegów wartości cech głównych w dziedzinie czasu "makro" może

umożliwić pozyskanie cennych informacji o dynamice i naturze zmian stanu maszyny.

LITERATURA

- [1] Cempel Cz.: *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*. WNT, Warszawa 1982.
- [2] Cholewa W., Kaźmierczak J., *Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów*, Skrypt Pol. Śl. nr 1693, Gliwice 1992
- [3] Cholewa W.: *Metoda diagnozowania maszyn z zastosowaniem zbiorów rozmytych*. Mechanika – Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z.764. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1983.
- [4] Fidali M.: *Metody łącznej analizy sygnałów w wielokanałowych układach diagnostycznych maszyn wirnikowych*. Zeszyt naukowy nr 123, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice, 2003.
- [5] Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W., (red.): *Diagnostyka procesów: Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania*. WNT, Warszawa, 2002.
- [6] Sobczak W., Malina W.: *Metody selekcji i redukcji informacji*. WNT, Warszawa, 1985.



Dr inż. Marek FIDALI pracuje w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn na stanowisku adiunkta. Jego zainteresowania obejmują zagadnienia analizy sygnałów, diagnostyki technicznej maszyn, analizy modalnej oraz ochrony człowieka i środowiska przed hałasem i drganiami.