

Mirosław TARGOSZ, Anna TIMOFIEJCZUK
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice

WYZNACZANIE WARTOŚCI GRANICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM METOD GRUPOWANIA DANYCH

Słowa kluczowe

Wartości graniczne, grupowanie danych, modelowanie uszkodzeń.

Streszczenie

W artykule zaproponowano podejście do wyznaczenia wartości granicznych za pomocą algorytmów rozmytego grupowania danych. Wykorzystano algorytmy FCM, PCM oraz algorytm Gustafsona-Kessela. Eksperyment przeprowadzono na danych symulacyjnych. W tym celu zbudowano model numeryczny maszyny wirnikowej, symulującej określone stany i wielkości niewyważenia. Wyznaczone wartości graniczne porównano z wartościami otrzymanymi przy pomocy metody statystycznej. Wszystkie obliczenia wykonywano w środowisku Matlab-Simulink.

Wprowadzenie

Istotą wnioskowania diagnostycznego jest porównanie zmierzonej, podczas działania obiektu technicznego, wartości cechy sygnału pomiarowego z wartością graniczną. Jak się okazuje, wartości te odgrywają kluczową rolę w każdym systemie diagnostyki. Nie ma przy tym znaczenia, czy dana wartość graniczna będzie wartością pojedynczej cechy, czy będzie to zbiór cech. Dla każdego symptomu określa się pewną wartość danej cechy, tzw. wartość graniczną S_{gr} ,

której przekroczenie powinno skutkować podjęciem decyzji eksploatacyjnej [3]. W przypadku tylko dwóch klas obiektu zdalny/niezdalny wnioskowanie diagnostyczne, czyli podjęcie decyzji co do dalszej eksploatacji, prowadzi się według relacji:

$$S < S_{gr} \quad \text{– stan zdalny} \quad (1)$$

$$S \geq S_{gr} \quad \text{– stan niezdalny} \quad (2)$$

Zgodnie z normą PN-ISO 10816-1 są to eksploatacyjne wartości graniczne drgań i przybierają one postać progów alarmowych oraz wyłączenia. Ustalenie wartości granicznych może odbywać się kilkoma metodami. Jednym ze sposobów ustalenia wartości granicznych jest powołanie się na zalecenia norm drganiowych producenta sprzętu, standardy krajowe lub międzynarodowe. Jedną z takich norm jest wspomniana już wcześniej norma PN-ISO 10816-1. Innymi sposobami są metody wykorzystujące krzywą życia, wyznaczaną w czynnym eksperymencie diagnostycznym lub metody statystyczne oparte na biernym eksperymencie diagnostycznym. Przykładem takiego podejścia jest metoda niezawodności symptomowej, której opis i wykorzystanie można znaleźć m.in. w [3, 4, 6, 10].

Celem pracy było opracowanie metody oszacowania wartości granicznych z wykorzystaniem algorytmów grupowania, a w szczególności metod rozmytego grupowania danych.

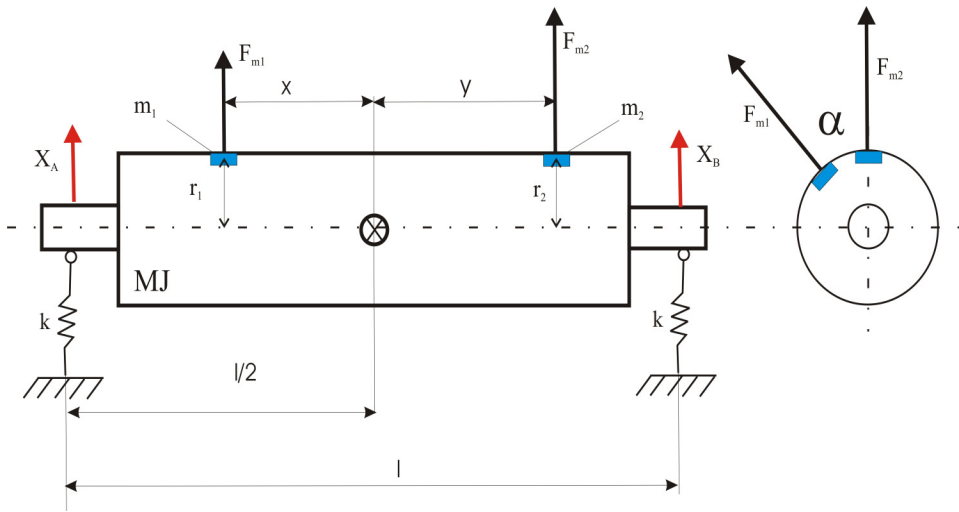
W przypadku obiektów technicznych, poszczególnym uszkodzeniom lub stanom obiektu odpowiadają w przestrzeni sygnałów określone obszary wzorcowe (obrazy) [5]. Jedną z metod klasyfikacji nadzorowanej są klasyczne metody rozpoznawania obrazów. Metody te wymagają znajomości danych uczących dla wszystkich stanów obiektu. Uzyskanie takich danych jest bardzo trudne, a w niektórych przypadkach wręcz niemożliwe.

Innym podejściem do problemu rozróżnienia obiektów, co dla zadań diagnostyki technicznej dotyczy najczęściej rozróżnienia stanu, są metody zwane grupowaniem, gdzie dla rozróżnienia obiektów wykorzystać można jedynie dostępne dane o tych obiektach. W przypadku grupowania nie ma zazwyczaj informacji, jakie parametry (wartości cech) charakteryzują obiekty, należące do danej grupy (klasy). Wzorec klasy wyznaczany jest z danych poddanych grupowaniu i dlatego operacje takie określa się mianem klasyfikacji nienadzorowanej. Spośród metod automatycznego grupowania danych, znanych z literatury poświęconej metodom sztucznej inteligencji [2, 8, 9], wybrano trzy podstawowe, najczęściej stosowane metody grupowania:

- FCM – Fuzzy C-Means;
- PCM – Possibilistic C-Means;
- GK – Algorytm Gustafsona-Kessela.

1. Obiekt badań i dane symulacyjne

Jako model fenomenologiczny do badań symulacyjnych przyjęto maszynę wirnikową. Na rys. 1 przedstawiono model fizyczny maszyny.



gdzie: l jest długością wirnika, x i y są odległościami od środka ciężkości występowania masy niewyważenia m_1 i odpowiednio m_2 . Natomiast parametry sztywności podpór oznaczono jako k .

Rys. 1. Model fizyczny maszyny wirnikowej

Dla tego typu maszyn jednym z podstawowych uszkodzeń jest niewyrównoważenie. Aby zasymulować drgania wywołane przez niewyważenie wirnika, zbudowano model numeryczny maszyny. Wyznaczone równania różniczkowe zaimplementowano do programu Matlab-Simulink. W opracowanym programie można zmieniać parametry układu, symulując drgania rzeczywistej maszyny zależne od rodzaju i wielkości niewyważenia.

Wygenerowane dane posłużyły do zasymulowania pomiarów wykonywanych w biernym eksperymencie diagnostycznym. Eksperyment taki polega na obserwacji grupy maszyn znajdujących się w różnych stanach eksploatacyjnych i następnie za pomocą określonych zależności możliwe jest wyznaczenie wartości granicznych sygnałów pomiarowych. W warunkach rzeczywistych, badając grupę maszyn, nie można w jednoznaczny sposób określić, jakie występują stany niewyważenia oraz czy jakkolwiek rodzaj niewyważenia można wykluczyć. W eksperymencie założono, że obserwacja dotyczy 15 maszyn. Pierwsze 3 maszyny nie wykazywały postępu niewyważenia, wykazywały jedynie niewyważenie resztkowe. Natomiast pozostałe 12 maszyn wykazywało różny stopień i ro-

dzaj niewyważenia. Założono, że maszyny zostały wyłączone z ruchu po przekroczeniu przez nie określonej wartości. W tab. 1 zawarto zmienne parametry generowanych przebiegów przyspieszeń dla danego stanu technicznego maszyn.

Tabela 1. Zmienne parametry modelu

Rodzaj niewyważenia	Postęp niewyważenia	Odl. x	Odl. y	Kat. α
Reszkowe	brak	losowe		
Styczne	liniowe	0	0	0
Styczne	wykładnicze	0	0	0
Styczne	skokowe	0	0	0
Momentowe	liniowe	losowe	x = y	180 ₋
Momentowe	wykładnicze	losowe	x = y	180 ₋
Momentowe	skokowe	losowe	x = y	180 ₋
Quasi-styczne	liniowe	losowe	-	-
Quasi-styczne	wykładnicze	losowe	-	-
Quasi-styczne	skokowe	losowe	-	-
Dynamiczne	liniowe	losowe		
Dynamiczne	wykładnicze	losowe		
Dynamiczne	skokowe	losowe		

Pierwsza kolumna tab. 1 określa jaki rodzaj niewyważenia był symulowany, kolejna – *postęp niewyważenia* oznacza, w jaki sposób zmieniała się masa niewyważenia, dla każdego rodzaju stanu obiektu. Przyjęto określone sposoby narastania masy niewyważenia:

- liniowy $\langle 0,001-0,003 \rangle$ – masa narasta liniowo w funkcji kolejnej realizacji (symulacji);
- wykładniczy $\langle 0,001-0,003 \rangle$ – masa narasta w postaci funkcji wykładniczej, przy czym zakres zmian pozostał identyczny jak w przypadku liniowym;
- skokowy – ten rodzaj symuluje nagłe oderwanie się elementu wirnika i tym samym nagły wzrost siły niewyważenia. Podczas symulacji chwili wystąpienia tego uszkodzenia nadano charakter losowy.

Drgania maszyn były symulowane za pomocą parametrów zestawionych w tab. 1, natomiast pozostałe „stałe” parametry modelu zestawiono w tab. 2.

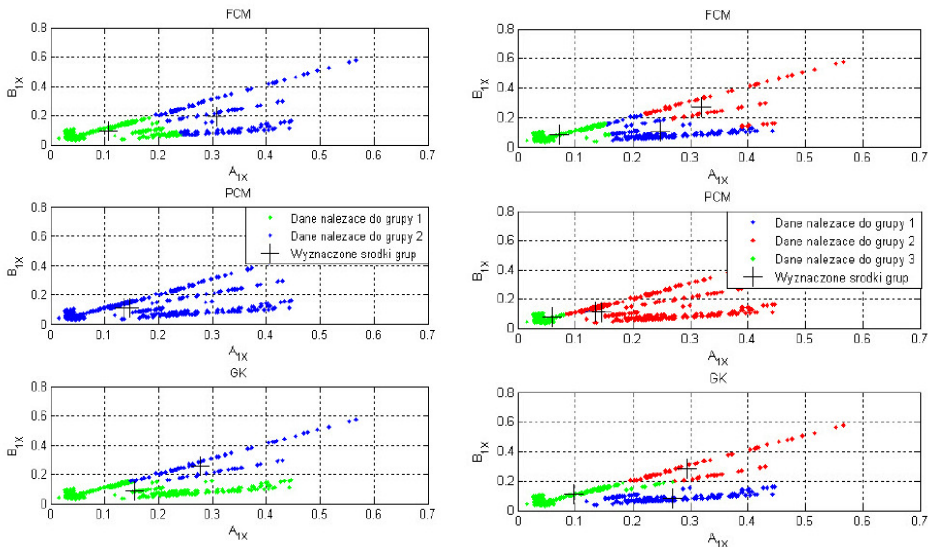
Tabela 2. Stałe parametry modelu

Nazwa parametru		Wartość parametru
Prędkość obrotowa	n	3000 obr./min
Masa wirnika	M	100 kg
Odległość podpór łożyskowych	l	1 m
Czas symulacji	t	3 s
Częstotliwość próbkowania	fs	512 Hz
Liczba realizacji dla każdej z maszyn	imax	30
Liczba zasymulowanych obiektów	Mz	15
Promień niewyważenia	r1	0,05 m
Promień niewyważenia	r2	0,05 m

Zaprezentowane podejście do generowania przebiegów czasowych odzwierciedla historię eksploatacji każdego obiektu. Należy nadmienić, że dodatkowo do każdego sygnału przyspieszeń dodawano szum, będący naturalną konsekwencją prowadzenia pomiarów w warunkach rzeczywistych.

Jako cechy opisujące stan symulowanych maszyn wybrano składowe 1X z obydwu podpór. W tym przypadku zrezygnowano z cechy, jaką jest różnica faz pomiędzy tymi składowymi. Pomimo że cecha ta jest istotna dla rozróżnienia stanu technicznego, nie ma ona wpływu na wartość dopuszczalnej amplitudy drgań. W przypadku doboru cech do procesu grupowania można było wybrać inne cechy opisujące sygnały, stosowane w diagnostyce technicznej. Spowodowałyby to wzrost wielkości wektora opisującego każdy z obiektów w procesie grupowania. Biorąc pod uwagę typ analizowanych maszyn i odpowiadający im model matematyczny, dodatkowe cechy byłyby całkowicie skorelowane z wybraną cechą, jaką jest składowa 1X.

W eksperymencie przyjęto arbitralnie, że podział będzie prowadzony na dwie oraz trzy grupy. Z jednej strony można to uzasadnić poszukiwaniem rozwiązania dla rozróżnienia klas stanu, zdatny bądź niezdatny. Natomiast podział na 3 grupy interpretować należy jako poszukiwanie progu alarmowego oraz wyłączenia. Na rys. 2 przedstawiono 450 dwuwymiarowych obiektów, co odpowiada 15 maszynom i 30 symulacjom dla każdej z nich, pogrupowanych na dwie oraz trzy grupy.



Rys. 2. Wyniki grupowania na dwie oraz trzy grupy

W tym przypadku możliwa jest jedynie intuicyjna, subiektywna ocena uzyskanych wyników, ponieważ nie dysponowano informacją na temat tego, jak ma być dokonany podział. Można w tym przypadku zauważyć, że środki grup w algorytmie FCM (oznaczone czarnymi krzyżykami), są najbardziej od siebie oddalone, zarówno przy grupowaniu na dwie, jak i trzy grupy. Natomiast dla tych danych algorytm PCM okazał się całkowicie nieprzydatny, ponieważ doprowadził do zbieżności środków grup i tym samym niemożliwe jest wydobyć jakichkolwiek informacji o analizowanych obiektach. Wyniki algorytmu GK są w tym przypadku trudne do interpretacji, ponieważ maksymalne wartości A_{IX} algorytm ten zakwalifikował do grupy o mniejszych wartościach cech, co mogłoby być interpretowane jako wartość bezpieczna poziomu drgań, a w rzeczywistości były to jedne z maksymalnych, symulowanych poziomów dla tej podpory.

2. Estymacja wartości granicznych

Mając zestaw maszyn w różnych stanach technicznych, w których dokonano obserwacji jego parametrów w odstępach czasu, poddano je grupowaniu, np. na dwie grupy. Wartość graniczną cechy sygnału pomiarowego, będącej cechą obiektu w procesie grupowania ustala się jako, maksymalną wartość cechy jednego ze środków grup, powiększoną o połowę odległości od środka tej grupy do środka grupy, której wartości są kolejno mniejsze od środka maksymalnego (posiadającego największe wartości cech).

$$S_{gr} = C_{\max} + \frac{\|C_{\max} - C_{\max-1}\|}{2} \quad (3)$$

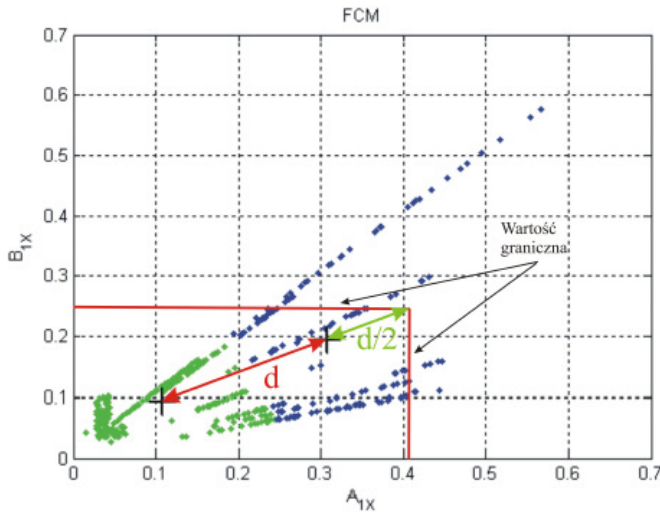
gdzie: C_{\max} – środek jednej z grup o największych parametrach, $C_{\max-1}$ – środek o największych parametrach kolejno po C_{\max} .

Schemat postępowania zaprezentowano na rys. 3.

W przypadku grupowania danych na trzy grupy możliwe jest ustalenie dwóch wartości granicznych w identyczny sposób jak dla jednej wartości w przypadku grupowania na dwie grupy. W celu wyznaczenia jednej wartości granicznej wymagane są wartości parametrów środków dwóch grup. Przy grupowaniu na większą od trzech liczbę grup wyznaczenie tym sposobem dalszych progów jest możliwe, ale należy zastanowić się, czy takie działanie jest pożądane.

Celem weryfikacji otrzymanych wyników porównano je z metodą statystyczną [3] wyznaczania wartości granicznych. Przyjęto:

- poziom zdatności $P = 0,9$,
- dopuszczalny poziom zbędnych remontów $A = 0,05$.



Rys. 3. Sposób estymacji wartości granicznych

Wartość graniczną (alarmową) można wyznaczyć ze wzoru:

$$S_{gr} = \bar{S} - \sum \sqrt{\frac{P}{2A}} \quad (3)$$

Wyznaczone za pomocą zaproponowanej metody wartości graniczne zestawiono w tab. 3.

Tabela 3. Otrzymane wartości graniczne

Metoda	War. gran. A1X	War. gran. B1X
Grupowanie c = 2	0,56 mm/s ²	0,40 mm/s ²
Grupowanie c = 3	0,53 mm/s ²	0,44 mm/s ²
Metoda statystyczna	0,65 mm/s ²	0,49 mm/s ²

Wnioski

Eksperyment, którego celem było oszacowanie wartości granicznych, dał zadowalające rezultaty. Podejście wyznaczania wartości granicznych w omawiany sposób uznano za słuszne, ponieważ dysponując danymi z obiektów sprawnych, nierozsądne byłoby ustalenie wartości granicznej na podstawie zakwalifikowania obiektu do danej grupy lub ustalenia wartości granicznej odpowiadającej środkowi grupy.

Otrzymana wartość graniczna jest zależna od charakteru danych, jeżeli dane są mocno skupione i wykazują małą wariancję, to otrzymane grupy znajdują się blisko siebie i tym samym wartość graniczna nie jest zbyt daleko oddalona od obserwowanych wartości. Jeżeli dane wykazują dużą wariancję, to odległość od wyznaczonych środków grup zwiększa się. Wartość graniczna rośnie proporcjonalnie do położenia grup i odległości między nimi. Eksperyment dowiódł, że metoda daje podobne wyniki, jak metoda statystyczna, tzn. wartości graniczne (wartości alarmowe) kształtują się na podobnym poziomie i odpowiadają dla metody statystycznej poziomowi 5 procent zbędnych remontów. W metodzie statystycznej procent zbędnych remontów jest ustalany przez personel diagnostyczny i ma on wpływ na wartość graniczną.

W metodzie opartej na grupowaniu danych też można wpływać na tę wartość poprzez wektor przesunięcia wartości środka maksymalnej grupy. W wykonanym eksperymencie była to połowa odległości pomiędzy środkami grup.

Podsumowując, stwierdzono, że algorytmy grupowania są pomocne w oszacowaniu wartości granicznych, przy czym stosując algorytm FCM otrzymano wyniki najbardziej zgodne z intuicyjnymi, w przeciwieństwie do algorytmu Gustafsona-Kessela, który wykazywał znaczne rozbieżności w wyznaczaniu środków grup i tym samym w oszacowanych wartościach granicznych. Stwierdzono, że wyniki algorytmu PCM były w przypadku rozważanych danych trudne do interpretacji. Dla takich danych jego tendencja do zbieżności środków grup całkowicie eliminowała dalsze prace nad wynikami zwróconymi przez ten algorytm.

Otrzymane wyniki mogą być przesłanką do dalszych prac nad udoskonaleniem tej metody. Zdaniem autorów w takim przypadku niezbędne jest dysponowanie danymi rzeczywistymi zbieranymi podczas realizacji eksperymentu biernego lub czynnego, ponieważ dane symulacyjne nie w pełni odzwierciedlają rzeczywisty obiekt. Eksperyment miał za zadanie sprawdzenie przydatności ww. algorytmów do szacowania wartości granicznych, nie skupiano się na zagadnieniu doboru odpowiedniego algorytmu dla określonych danych wejściowych.

Bibliografia

1. Bartelmus W.: Diagnostyka maszyn górniczych – górnictwo odkrywkowe. Śląsk, Katowice 1998.
2. Bezdek J.: Pattern Recognition with Fuzzy OBJECTIVE FUNCTION Algorithms. Planum Press, New York 1981.
3. Cempel C.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985.

4. Cempel C.: Passive diagnostic experiment, symptom reliability and their applications in vibration condition monitoring, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*. 1990, 25, z. 2–3.
5. Korbicz J. i in.: Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. WNT, Warszawa 2002.
6. Orłowski, Z.: Diagnostyka w życiu turbin parowych. WNT, Warszawa 2001.
7. Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyn na podstawie pomiarów na częściach niewirujących. Wytyczne ogólne. PN-ISO 10816-1.
8. Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN, Warszawa 2006.
9. Stąpor K.: Automatyczna klasyfikacja obiektów. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.
10. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1996.

Recenzenci:

Piotr SZCZEPANIAK
Roman ŚMIERZCHAŁSKI
Jerzy DOBRODZIEJ

Praca finansowana ze środków przeznaczonych na badania statutowe w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

The determination of limit values using methods of data clustering

Key words

Limits values, data clustering, failure modelling.

Summary

The paper describes a methodology for estimating the limit values of characteristics of diagnostic signals using methods of fuzzy data clustering (FCM, PCM and Gustafson-Kessel algorithms). The experiment was conducted on simulated data, using a numerical model of a rotor machine, simulating given unbalanced states. Limits were compared with value estimating using the statistical method.