ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: TRANSPORT z. 61 Nr kol. 1704

Piotr CZECH

PROPOZYCJA METODY DIAGNOZOWANIA USZKODZEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W UKŁADACH PRZENIESIENIA NAPĘDU Z WYKORZYSTANIEM LOGIKI ROZMYTEJ

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono propozycję metody diagnozowania uszkodzeń występujących w układach napędowych. W metodzie tej zaproponowano wykorzystanie logiki rozmytej jako narzędzia odpowiedzialnego za podejmowanie decyzji diagnostycznych o stanie technicznym elementów.

PROPOSITION OF DIAGNOSIS METHOD OF FAILURE IN POWER TRANSMISSION SYSTEM BY USED FUZZY LOGIC

Summary. The work presents proposition of diagnosis method of failure in power transmission system. In this method fuzzy logic was proposed as a tool for make decision about condition monitoring in driving gear.

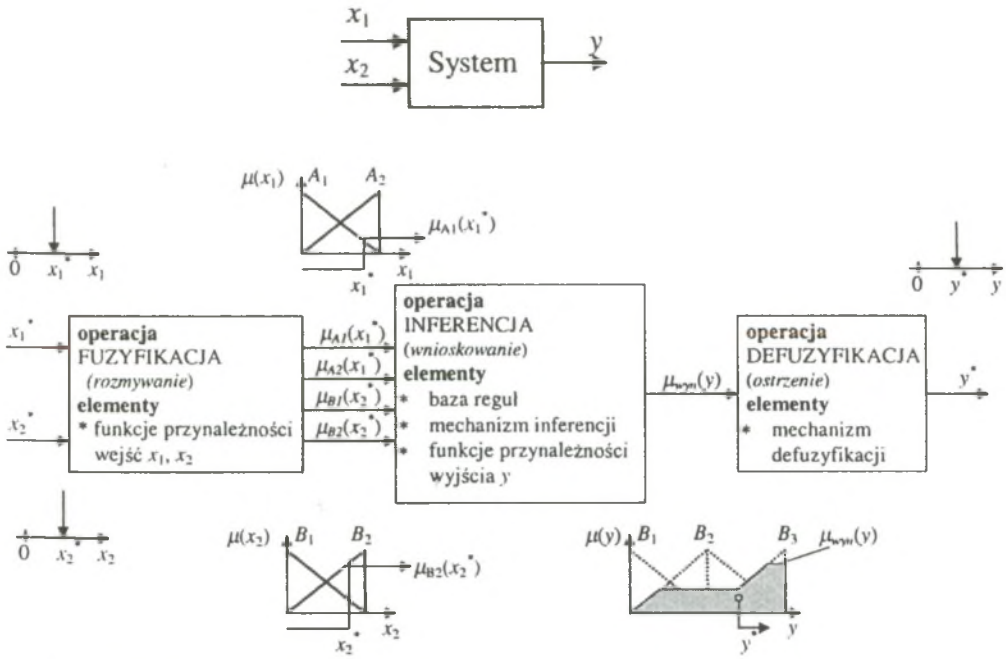
1. WPROWADZENIE DO LOGIKI ROZMYTEJ

Logika rozmyta jest bardzo skutecznym sposobem przetwarzania informacji niepewnej i nieprecyzyjnej, czyli takiej, która występuje w praktyce [3]. Ze względu na swoje cechy może być ona z powodzeniem stosowana w systemach diagnozowania stanu obiektów technicznych. Podstawy algorytmów rozmytych zostały szeroko opisane w literaturze [2, 5, 6, 7, 8].

Struktura modelu rozmytego składa się z następujących bloków:
- fuzyfikacji,
- interferencji,
- defuzyfikacji.

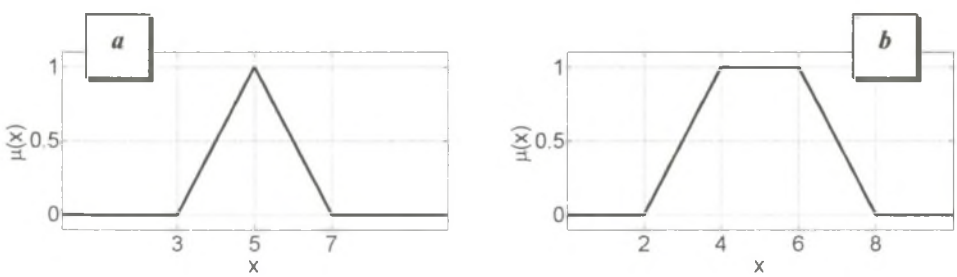
Struktura przykładowego modelu rozmytego o dwóch wejściach i jednym wyjściu została przedstawiona na rys. 1 [6].

Dla ostrych wartości wejściowych x_1^* i x_2^* zostaje wyznaczony stopień przynależności $\mu(x_1^*)$ i $\mu(x_2^*)$ do poszczególnych zbiorów rozmytych A i B. Proces ten odbywa się w bloku fuzyfikacji (rozmywania), gdzie zdefiniowane są funkcje przynależności do zbiorów rozmytych kolejnych wejść systemu. Funkcje przynależności muszą być dokładnie zdefiniowane jakościowo (rodzaj funkcji) i ilościowo (parametry, współczynniki funkcji) [6].



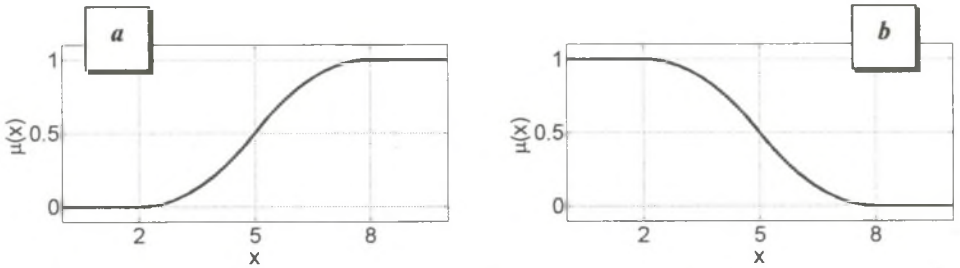
Rys. 1. Przykładowa struktura modelu rozmytego [6]
Fig. 1. Example of structure fuzzy model [6]

W literaturze można spotkać wiele różnych typów funkcji przynależności [5, 6, 8]. Przykładowe funkcje przynależności przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowa funkcje przynależności: (a) funkcja klasy Λ, (b) funkcja klasy Π
Fig. 2. Example of membership function: (a) function of Λ-class, (b) function of Π-class

Autor [5] postuluje rozszerzenie zbioru klas funkcji przynależności o klasy funkcji przeciwnych do nich. Przykładowa funkcja przynależności oraz funkcja przeciwna do niej zostały pokazane na rys. 3.



Rys. 3. Przykładowa funkcja przynależności i funkcja przeciwna: (a) funkcja klasy s, (b) funkcja klasy z

Fig. 3. Example of membership function and contrary function: (a) function of s-class, (b) function of z-class

Na podstawie stopnia przynależności wejść $\mu(x_1^*)$ i $\mu(x_2^*)$ kolejny blok systemu rozmytego wyznacza wynikową funkcję przynależności $\mu_{wyn}(y)$. Blok interferencji musi zawierać określone elementy [6]:

- bazę reguł,
- mechanizm interferencyjny,
- funkcję przynależności wyjścia modelu y.

W bazie reguł zawarte są zależności przyczynowo-skutkowe wyjścia od wejść modelu, np.:

reguła 1: jeśli $(x_1 = A_1)$ i $(x_2 = B_1)$, to $(y = C_1)$.

Mechanizm interferencyjny składa się z części [6]:

- obliczającej stopień spełnienia poszczególnych reguł,
- obliczającej stopień aktywacji konkluzji poszczególnych reguł,
- określającej wynikową postać funkcji przynależności wyjścia $\mu_{wyn}(y)$ na podstawie stopni aktywacji poszczególnych reguł.

W ostatnim bloku systemu rozmytego na podstawie wynikowej funkcji przynależności wyjścia $\mu_{wyn}(y)$ wyznacza się ostrą wartość wyjścia y^*. Dokładne omówienie metod stosowanych w celu wyznaczenia wartości wyjściowej y^* zostało przedstawione w pracach [2, 5, 6, 7].

Przykład zastosowania logiki rozmytej w systemach diagnozujących stan techniczny obiektów można znaleźć w [3, 4, 9].

2. PROPOZYCJA SPOSOBÓW BUDOWY STRUKTURY MODELU ROZMYTEGO DIAGNOZUJĄCEGO ELEMENTY UKŁADU NAPĘDOWEGO

W przeprowadzonych doświadczeniach [1] podjęto próbę zbudowania klasyfikatora stopnia uszkodzenia zębów koła przekładni wykorzystującego logikę rozmytą.

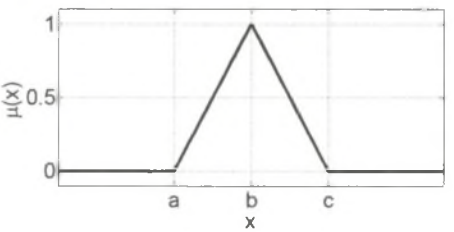
Zmierzone na stanowisku mocy krążącej sygnały prędkości drgań poprzecznych wału koła stanowiły bazę w budowie wzorców rodzaju i stopnia uszkodzenia zębów kół przekładni dla projektowanych klasyfikatorów.

Sygnały drganiowe przefiltrowano przy użyciu wielu filtrów, a otrzymane przebiegi czasowe poddano analizie FFT oraz CWT. Analizy te wybrano ze względu na poprawność wyników klasyfikacji, jakie otrzymano przy wykorzystaniu klasyfikatorów neuronowych z wzorcami uzyskanymi w wyniku tych analiz. Dodatkowym atutem była

szybkość przeprowadzanych analiz, co może być podstawą w budowie systemu pracującego w czasie rzeczywistym (on-line).

Ponieważ w literaturze nie znaleziono informacji na temat sposobu projektowania poprawnie działających systemów diagnozujących stan techniczny maszyn wykorzystujących do tego celu logikę rozmytą, podjęto próbę opracowania, sprawdzenia i porównania różnych sposobów budowy systemów diagnozujących uszkodzenia zębów kół przekładni jeszcze we wczesnych fazach rozwoju.

Zgodnie z definicją logiki rozmytej pierwszym blokiem systemu, jaki należy określić, jest blok fuzzyfikacji. W bloku tym dokonywane jest „rozmywanie" wejść klasyfikatora przez zdefiniowane funkcje przynależności do zbiorów rozmytych kolejnych wejść systemu (z ang. Membership Function). W badaniach [1] za funkcję przynależności wejść przyjęto funkcję klasy Λ [5] przedstawioną na rys. 4.



Rys. 4. Wybrana funkcja przynależności
Fig. 4. Chosen of membership function

Dla każdego wejścia systemu klasyfikacji należy określić punkty charakterystyczne dla tej funkcji: a, b, c.

W pracy [1] zaproponowano dwa sposoby określania punktów charakterystycznych funkcji przynależności wejść (tab. 1 i 2).

Tabela 1

Sposób „A" określania punktów charakterystycznych funkcji przynależności wejść systemu wykorzystującego logikę rozmytą

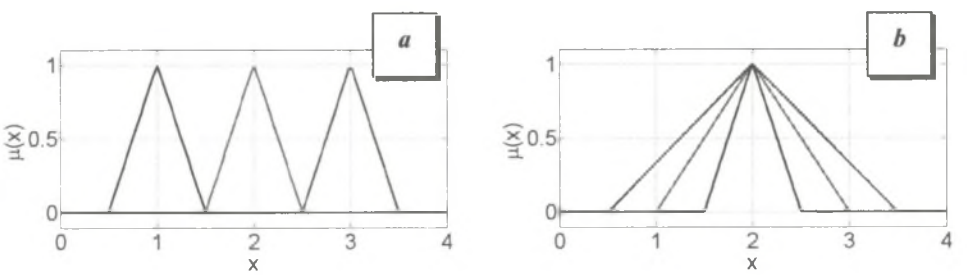
Analiza	
CWT	***FFT***
$a = \min(CWT(v))$	$a = \min(FFT(v))$
$c = \max(CWT(v))$	$c = \max(FFT(v))$
$b = \dfrac{\min(CWT(v)) + \max(CWT(v))}{2}$	$b = \dfrac{\min(FFT(v)) + \max(FFT(v))}{2}$

Tabela 2

Sposób „B" określania punktów charakterystycznych funkcji przynależności wejść systemu wykorzystującego logikę rozmytą

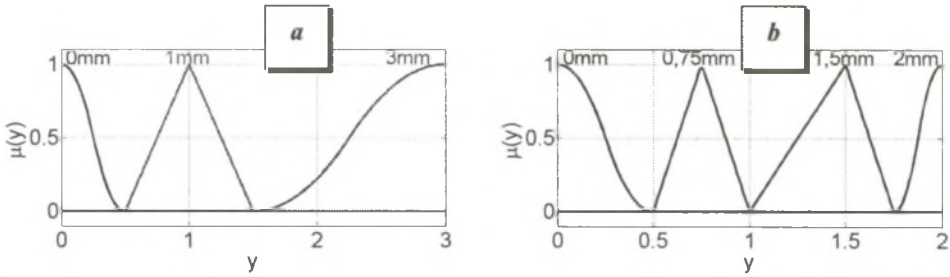
Analiza			
CWT		***FFT***	
$a = \min\begin{pmatrix} \min(CWT(v)) \\ \max(CWT(v)) \\ CWT(v_{usr}) \end{pmatrix}$		$a = \min\begin{pmatrix} \min(FFT(v)) \\ \max(FFT(v)) \\ FFT(v_{usr}) \end{pmatrix}$	
$c = \max\begin{pmatrix} \min(CWT(v)) \\ \max(CWT(v)) \\ CWT(v_{usr}) \end{pmatrix}$		$c = \max\begin{pmatrix} \min(FFT(v)) \\ \max(FFT(v)) \\ FFT(v_{usr}) \end{pmatrix}$	
$b = \min(CWT(v))$ lub $b = \max(CWT(v))$ lub $b = CWT(v_{usr})$	gdzie: $a < b < c$	$b = \min(FFT(v))$ lub $b = \max(FFT(v))$ lub $b = FFT(v_{usr})$	gdzie: $a < b < c$

Należy zauważyć, iż najlepszy byłby przypadek, w którym kolejne klasy nie miałyby ze sobą części wspólnej (rys. 5a). W takiej sytuacji zbyteczne stałoby się korzystanie z systemu logiki rozmytej, a wystarczyłaby tylko jedna estymata, na podstawie której klasyfikowano by poszczególne stany uszkodzenia diagnozowanego obiektu. Przeciwieństwem tego przypadku jest przykład pokazany na rys. 5b, w którym przedziały zmienności wartości dla poszczególnych klas zawierają się w sobie w całości, co uniemożliwia opracowanie poprawnie działającego systemu klasyfikacji.



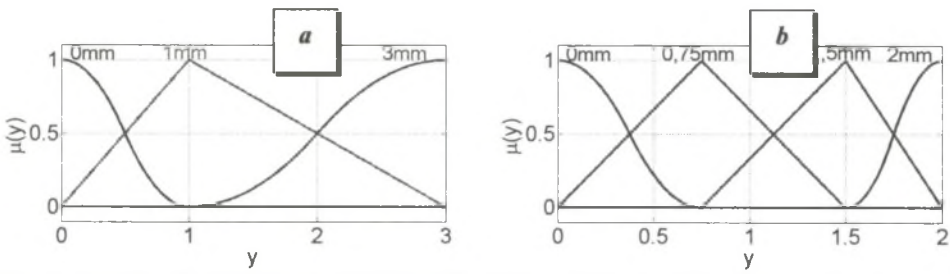
Rys. 5. Wzorcowe funkcje przynależności: (a) przypadek najlepszy, (b) przypadek najgorszy
Fig. 5. Standard of membership function: (a) the best event, (b) the worst event

W pracy [1] również w przypadku wyjść systemu wykorzystującego logikę rozmytą do celów diagnostycznych przekładni zębatej zaproponowano i sprawdzono dwa sposoby rozmywania. Sposoby te przedstawiono na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Sposób „1" budowy rozmytych wyjść systemu logiki rozmytej dla uszkodzenia w postaci: (a) pęknięcia u podstawy zęba, (b) wykruszenia wierzchołka zęba

Fig. 6. Method „1" built fuzzy outputs system for tooth gear failure: (a) cracking of root tooth, (b) chipping of pinion tooth



Rys. 7. Sposób „2" budowy rozmytych wyjść systemu logiki rozmytej dla uszkodzenia w postaci: (a) pęknięcia u podstawy zęba, (b) wykruszenia wierzchołka zęba

Fig. 7. Method „2" built fuzzy outputs system for tooth gear failure: (a) cracking of root tooth, (b) chipping of pinion tooth

Przeprowadzone w [1] badania miały na celu przeanalizowanie wpływu sposobu rozmywania wejść i wyjść systemu na wynik procesu klasyfikacji stopnia uszkodzenia zębów kół przekładni.

Doświadczenia z udziałem systemów logiki rozmytej zostały przeprowadzone oddzielnie dla dwóch rodzajów uszkodzenia przekładni zębatej w postaci:

- pęknięcia u podstawy zęba koła,
- wykruszenia wierzchołka zęba koła,

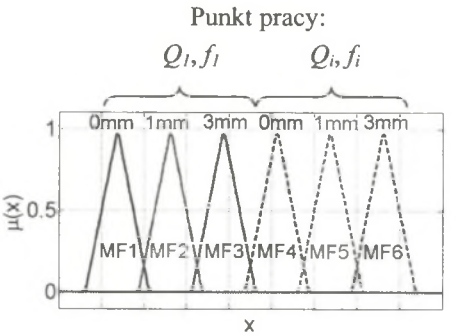
w różnych punktach pracy maszyny:

- $Q = 2{,}58$ [MPa], $f_{o2} = 15$ [Hz],
- $Q = 2{,}58$ [MPa], $f_{o2} = 30$ [Hz],
- $Q = 3{,}85$ [MPa], $f_{o2} = 15$ [Hz],
- $Q = 3{,}85$ [MPa], $f_{o2} = 30$ [Hz].

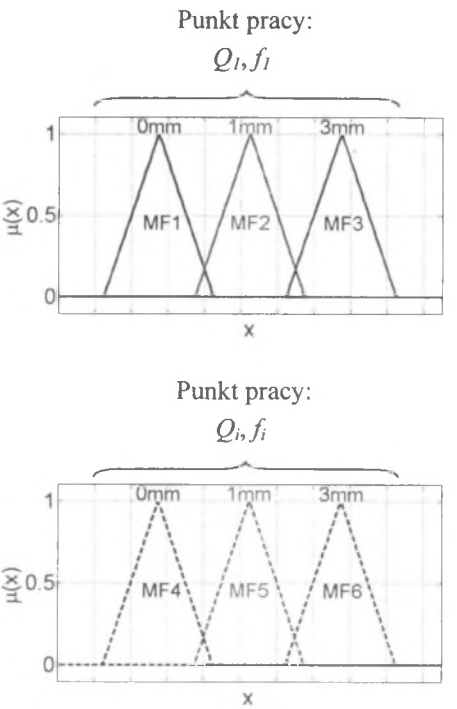
Punkty pracy maszyny były zgodne z wybranymi w procesie rejestracji przebiegów drganiowych na stanowisku mocy krążącej FZG.

Dodatkowo przeprowadzono eksperymenty z wykorzystaniem klasyfikatorów jednego rodzaju uszkodzenia, niezależnie od obciążenia i prędkości obrotowej wałów kół przekładni zębatej, oraz obu rodzajów uszkodzenia diagnozowanych przez jeden klasyfikator.

W czasie budowy bazy reguł systemu logiki rozmytej korzystano z dwóch sposobów przedstawionych na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Sposób „I" budowy reguł systemu logiki rozmytej: MF1...6 – kolejne funkcje przynależności
Fig. 8. Method „I" built rules for fuzzy system: MF1...6 – membership function



Rys. 9. Sposób „II" budowy reguł systemu logiki rozmytej: MF1...6 – kolejne funkcje przynależności
Fig. 9. Method „II" built rules for fuzzy system: MF1...6 – membership function

Powyższe rysunki przedstawiają przykładowy system klasyfikacji stopnia pęknięcia stopy zęba koła w rozpoznawanych dwóch punktach pracy maszyny. W „I" typie systemu dla każdego wejścia klasyfikatora zakodowano wszystkie występujące punkty pracy maszyny, natomiast w „II" typie systemu każde z wejść systemu zostało zwielokrotnione o liczbę analizowanych punktów pracy przekładni zębatej.

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych eksperymentów mających na celu wykorzystanie logiki rozmytej do celów diagnozowania rodzaju i stopnia uszkodzeń przekładni zębatej zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach autora.

Literatura

1. Czech P.: Wykrywanie uszkodzeń przekładni zębatych za pomocą metod sztucznej inteligencji. Rozprawa doktorska. Katowice 2006.
2. Kacprzyk J.: Wieloetapowe sterowanie rozmyte. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
3. Korbicz J., Kościelny J., Kowalczuk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
4. Kościelny J. M.: Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
5. Łachwa A.: Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
6. Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Problemy współczesnej nauki. Teoria i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
7. Rutkowska D.: Inteligentne systemy obliczeniowe. Algorytmy genetyczne i sieci neuronowe w systemach rozmytych. Problemy współczesnej nauki. Teoria i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1997.
8. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa - Łódź 1997.
9. Yang H., Mathew J., Ma L.: Intelligent diagnosis of rotating machinery faults – a review. 3rd Asia Pacific Conference on System Integrity and Maintence. Sydney 2002, p. 385÷392.

Recenzent: Prof. nzw. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski