

Piotr CZECH

## PROPOZYCJA UKŁADU DIAGNOSTYCZNEGO WYKORZYSTUJĄCEGO METODY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono propozycję układu diagnozującego uszkodzenia występujące w układach napędowych wykorzystującego do tego celu metody sztucznej inteligencji. Wybrane elementy opisanego układu diagnostycznego stanowią stworzone w środowisku Matlab/Simulink aplikacje.

## PROPOSITION OF DIAGNOSIS SYSTEM WHICH USED ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

**Summary.** The work presents proposition of diagnosis system which was build with artificial intelligence methods. Some parts of the automatic system was done as application in Matlab/Simulink.

### 1. WPROWADZENIE

Monitorowanie i diagnozowanie stanu obiektów technicznych jest jednym z podstawowych działań służących konstruowaniu strategii ich poprawnej eksploatacji. Bardzo często wystąpieniu awarii towarzyszy oprócz strat ekonomicznych również zagrożenie dla życia ludzkiego. Niezbędne staje się zatem stworzenie odpowiednich narzędzi diagnostycznych pozwalających na wczesną wykrywalność wszelkich zagrożeń.

Już od wielu lat w ośrodkach krajowych i zagranicznych prowadzone są badania, których celem jest opracowanie odpowiednich narzędzi wspomagających procesy rozpoznawania uszkodzeń elementów układów napędowych. Szczególnie ważne wydaje się stworzenie takich metod, które pozwolą wykryć wszelkiego rodzaju uszkodzeń już we wczesnych ich stadiach.

Następujący w ostatnich latach bardzo duży rozwój układów pomiarowych i komputerów umożliwił tworzenie coraz doskonalszych systemów diagnostycznych.

Nowością opisywaną w literaturze są systemy ekspertowe wykorzystujące elementy sztucznej inteligencji. Takie systemy, które są odpowiednio skonstruowane i nauczone, potrafią automatycznie rozpoznać występujące uszkodzenia.

Wykorzystując metody sztucznej inteligencji, można spróbować zbudować system diagnostyczny wykrywający uszkodzenia występujące w układach przeniesienia napędu we wcześniejszej fazie rozwoju, na co w większości przypadków nie pozwalają opisywane w literaturze analizy i miary diagnostyczne.

W artykule przedstawiono propozycje budowy układu diagnozującego uszkodzenia występujące w układach przeniesienia napędu wykorzystującego metody sztucznej inteligencji.

## 2. SYSTEM AUTOMATYCZNEGO WNIOSKOWANIA O STANIE ELEMENTÓW UKŁADU NAPĘDOWEGO

W pracy [3] przedstawiono wyniki eksperymentów mających na celu opracowanie propozycji systemu diagnostycznego przekładni zębatej wykorzystującego metody sztucznej inteligencji. Uzyskane wyniki pozwoliły na zbudowanie odpowiednich zestawów wzorców oraz na stworzenie klasyfikatorów neuronowych odpowiedniego typu, architektury i algorytmu uczenia lub opartego na logice rozmytej w odpowiednio zaprojektowanym systemie.

Chcąc zastosować w praktyce stworzone aplikacyjne układy diagnostyki wykorzystujące sztuczną inteligencję, należy zaimplementować je w sprzętowych układach diagnostycznych. Układ taki powinien się składać się z następujących części (rys. 1):

- układ pomiarowy,
- układ akwizycji danych,
- układ przetwarzania danych,
- układ obliczeniowy,
- układ wizualizacji wyników.

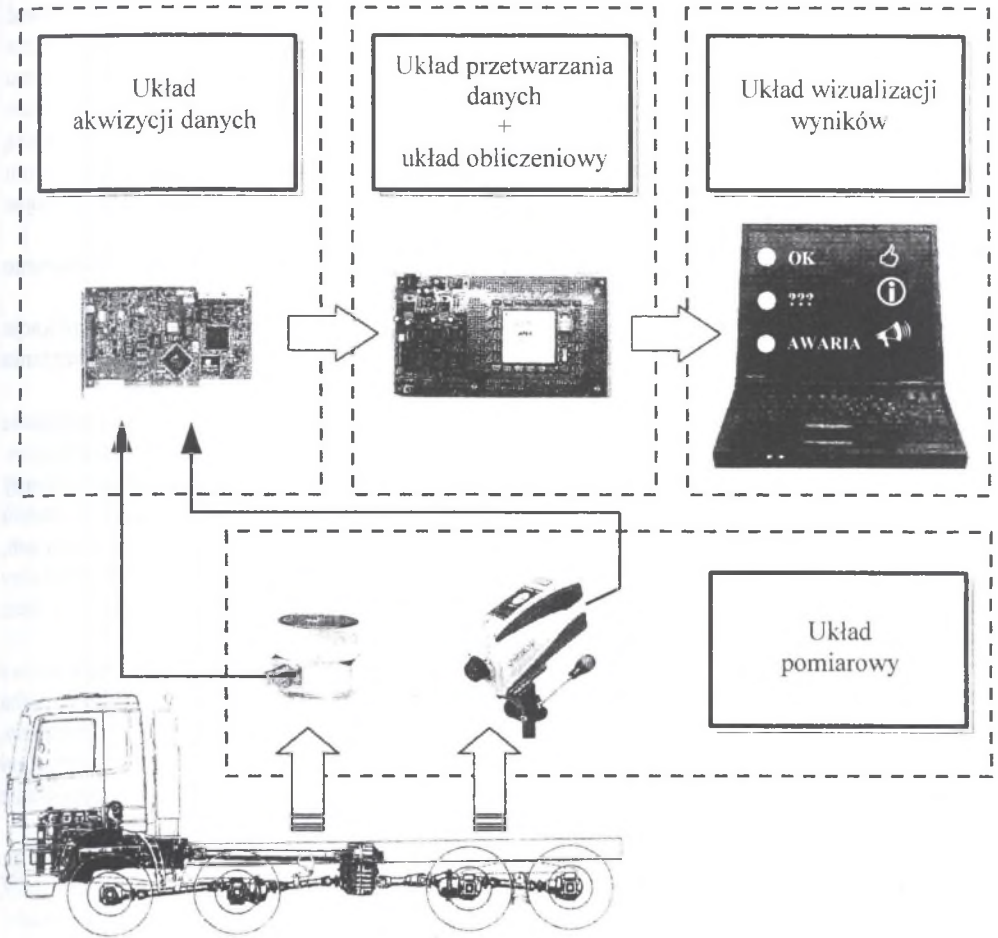
Drgania elementów układów napędowych pojazdów lub maszyn należy w takim systemie mierzyć za pomocą czujnika przyspieszeń drgań lub za pomocą wirometru laserowego. Jako czujnik przyspieszeń drgań można przykładowo wykorzystać piezoelektryczny przetwornik typu ICP.

Zmierzone sygnały należy następnie konwertować na postać cyfrową z odpowiednio wysoką częstotliwością próbkowania. Do tego zadania można wykorzystać dowolną kartę akwizycji danych.

Następnie sygnał drganiowy musi zostać poddany filtracji oraz wstępnemu przetworzeniu umożliwiającemu wyodrębnienie danych wejściowych dla klasyfikatora wykorzystującego metody sztucznej inteligencji [3,5,6]. Zadanie to można wykonać na drodze aplikacyjnej, podobnie jak system zaproponowany w [2], a także za pomocą układów sprzętowych, analogicznie do przedstawionego w [1,4].

Wyznaczone dane wejściowe mogą zostać wykorzystane do celów diagnozy stanu obiektu technicznego w układzie z zaimplementowaną sztuczną inteligencją. Do realizacji sieci neuronowych można zastosować następujące techniki: analogową, optoelektryczną, cyfrową [7]. Najlepszym rozwiązaniem do tego celu wydaje się wykorzystanie układów elektronicznych logiki programowalnej FPGA (z ang. Field Programmable Gate Array) lub układów ASIC (z ang. Application-Specific Integrated Circuits) [9]. Zastosowanie tego rozwiązania pozwala na sprzętową realizację zadania wstępnego przetwarzania danych oraz obliczeń z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji za pomocą jednej karty.

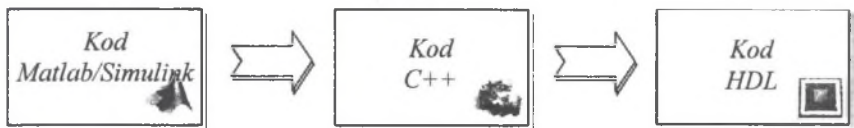
W literaturze można spotkać podobne systemy zrealizowane za pomocą układów ASIC/FPGA. W [8] przedstawiono systemy sieci neuronowych zaimplementowanych w układach ASIC/FPGA, natomiast w [1,4] sprzętowe rozwiązanie z użyciem reprogramowalnych układów FPGA urządzenia diagnostycznego przeznaczonego do analizy sygnałów niestacjonarnych.



Rys. 1. Schemat układu diagnostycznego

Fig. 1. Scheme of diagnosis system

Chcąc zaimplementować w układy ASIC/FPGA system diagnostyczny wykorzystujący metody sztucznej inteligencji, należy postąpić zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys. 2.



Rys. 2. Procedura implementacji systemu wykorzystującego metody sztucznej inteligencji w układzie typu ASIC/FPGA

Fig. 2. Procedure of implementation artificial intelligence diagnosis system into ASIC/FPGA

Kod programu stworzony w środowisku Matlab/Simulink należy przekonwertować na język C++, wykorzystując do tego celu odpowiedni toolbox [9] lub specjalistyczne oprogramowanie [8]. Opis układu elektronicznego będącego realizacją sprzętową systemu diagnostycznego tworzy się, wykorzystując do tego celu język HDL (z ang. Hardware Description Language) [8,9]. W tym celu można się posłużyć specjalną aplikacją umożliwiającą konwersję kodu z języka C++ na HDL. Tak utworzony kod systemu diagnostycznego wykorzystującego metody sztucznej inteligencji należy, wykorzystując specjalne oprogramowanie, załadować do układu ASIC/FPGA.

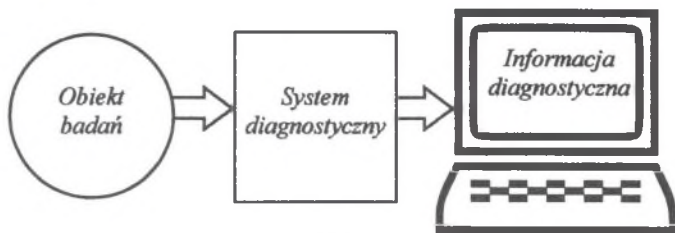
Ostatnim elementem systemu diagnostycznego jest układ, którego celem jest przekazanie informacji o stanie obiektu technicznego użytkownikom tego systemu.

Wynikiem pracy [3] są stworzone w środowisku Matlab/Simulink aplikacje najważniejszych części składowych systemu diagnostycznego w postaci układu przetwarzania danych i układu obliczeniowego.

Przeprowadzone doświadczenia wskazują na możliwość kilkuwariantowego podejścia do projektowania systemów diagnostycznych wykorzystujących metody sztucznej inteligencji. Ze względu na trudności związane z diagnostyką stanu danego obiektu technicznego systemy takie mogą być tworzone jako jednomodułowe, zbudowane z jednego systemu diagnozującego wszystkie elementy składowe układów napędowych we wszystkich stanach, oraz wielomodułowe składające się z wielu podsystemów, w których każdy odpowiedzialny jest za diagnozę konkretnego elementu układu napędowego. Przykładowy system jednomodułowy przedstawiono na rys. 3, natomiast system wielomodułowy na rys. 4.

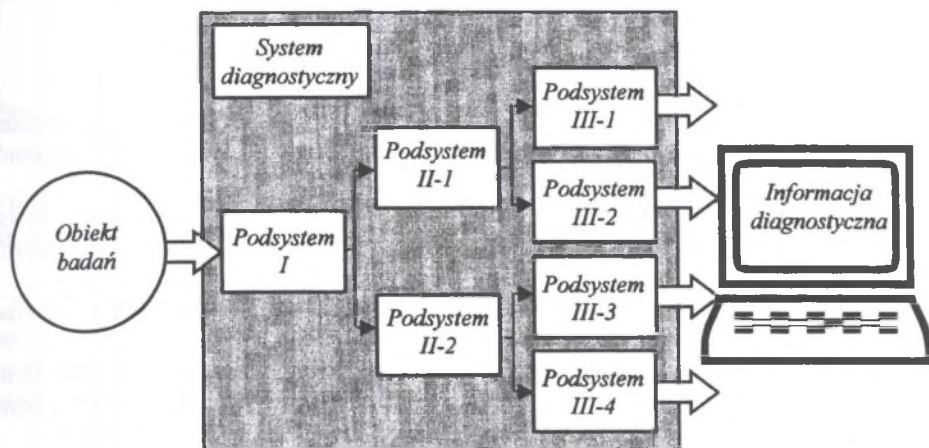
Przykładem systemu jednomodułowego mógłby być klasyfikator neuronowy rozpoznający stan bezawaryjny, pęknięcie u podstawy zęba i wykruszenie wierzchołka zęba przekładni w różnych stadiach zaawansowania. Przeprowadzone doświadczenia [3] pokazały, że możliwe jest stworzenie takiego systemu poprzez odpowiedni dobór struktury i architektury sieci neuronowej oraz odpowiednią budowę wzorców poprzez zastosowanie filtracji oraz wstępnego przetwarzania sygnału drganiowego.

Zaproponowana zasada pracy systemu wielomodułowego polega na podziale całego zadania na części, w których występuje mniejsze zróżnicowanie danych. System taki, przykładowo, mógłby się składać z trzech podsystemów. Pierwszy podsystem dokonywałby klasyfikacji pomiędzy stanem bezawaryjnym, wystąpieniem pęknięcia u podstawy zęba lub wykruszeniem wierzchołka zęba. W kolejnym stopniu następowałaby identyfikacja punktu pracy (obciążenie, prędkość), a dalej sprawdzenie stopnia zaawansowania danego typu uszkodzenia. Oczywiście, im trudniejsze zadanie zostałyby postawione przed systemem diagnostycznym, tym z większej liczby podsystemów należałoby go budować.



Rys. 3. Jednomodułowy system diagnostyczny

Fig. 3. One-piece diagnosis system



Rys. 4. Wielomodułowy system diagnostyczny

Fig. 4. Multi-piece diagnosis system

Na podstawie wyników [3] widać, że mniejszym błędem charakteryzowały się klasyfikatory uczone dla konkretnego typu uszkodzenia przy danej prędkości i obciążeniu przekładni niż systemy mające rozpoznawać wszystkie warianty.

Każdy z podsystemów może się składać zarówno ze sztucznej sieci neuronowej, jak i z systemu wykorzystującego logikę rozmytą. Analogicznie cały system może być zbudowany tylko z jednego typu sztucznej inteligencji, jak i może się składać z podsystemów budowanych w oparciu o różne jej typy. Przeprowadzone badania [3] pokazały, że zarówno w przypadku zastosowania sztucznych sieci neuronowych, jak i systemów logiki rozmytej wyniki procesu klasyfikacji rodzaju i stopnia uszkodzenia zębów kół przekładni są zadowalające.

W przypadku konieczności użycia wzorców o dużym rozmiarze oraz sieci o dużej liczbie wejść można próbować zminimalizować te wielkości, stosując algorytm PCA/SVD na wykorzystywanych wzorcach lub algorytm genetyczny mający zoptymalizować liczbę wejść sieci. Wyniki takich prób zostały przedstawione w pracy [3].

### 3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono propozycję systemu wykorzystującego metody sztucznej inteligencji do celów diagnostycznych.

System taki powinien się składać z układu pomiarowego, układu rejestracji danych, układu przetwarzania danych, układu obliczeniowego oraz układu wizualizacji wyników. Układ przetwarzania danych oraz układ obliczeniowy są to układy, które stanowią aplikacje zbudowane w wyniku przeprowadzonych badań [3]. Oba układy zrealizowano w środowisku Matlab/Simulink, co daje możliwość ich bezpośredniego wykorzystania przy tworzeniu sprzętowych implementacji systemów diagnostyki w układzie elektronicznym logiki programowalnej FPGA. Dzięki możliwości konwersji tak stworzonych aplikacji do języka HDL uzyskuje się opis układu elektronicznego realizującego zaprojektowane zadania diagnostyczne.

## Literatura

1. Adamczyk J., Krzyworzeka P., Cioch W., Jamro E.: Sprzętowa implementacja procedury liniowej decymacji PLD. XXXIII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Węgierska Górka 2005.
2. Batko W., Korbiel T., Przewoźnik Ł.: Analizator sygnałów diagnostycznych łożysk tocznych DIAGBEAR. XXXII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Węgierska Górka 2005.
3. Czech P.: Wykrywanie uszkodzeń przekładni zębatych za pomocą metod sztucznej inteligencji. Rozprawa doktorska, Katowice 2006.
4. Jamro E., Adamczyk J., Krzyworzeka P., Cioch W.: Programowalne urządzenie diagnostyczne stanów niestacjonarnych pracujące w czasie rzeczywistym. XXXIII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Węgierska Górka 2006.
5. Korbicz J., Kościelny J., Kowalczyk Z., Cholewa W. (*praca zbiorowa*): Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
6. Nałęcz M., Duch W., Korbicz J., Rutkowski L., Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, tom 6. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2000.
7. Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993.
8. Uhl T., Mendrok K.: Zastosowanie odwrotnego zadania identyfikacji do wyznaczenia sił obciążających konstrukcje mechaniczne. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Warszawa 2005.
9. Zieliński T. P.: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

*Publikacja powstała w wyniku realizacji pracy BW- 419/RT2/2006*