

OPTYMALIZACJA KONSTRUKCJI SYSTEMÓW DIAGNOSTYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH

Adam PIETRZYK, Tadeusz UHL

Katedra Robotyki i Dynamiki Maszyn

Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30 – 059 Kraków,
tel. (12)6173677, fax. (12) 634-35-05, adam.pietrzyk@agh.edu.pl, tuhl@rob.wibro.agh.edu.pl

Streszczenie

Duże obiekty techniczne są zbudowane z bardzo wielu elementów składowych tworzących podzespoły realizujące ściśle określone funkcje. Diagnostowanie wszystkich elementów systemu jest w praktyce nieuzasadnione technicznie a przede wszystkim ekonomicznie. W związku z tym istnieje potrzeba dokonania selekcji elementów, których diagnostowanie będzie wystarczające dla poprawnego funkcjonowania całego obiektu technicznego. Dokonując takiej selekcji należy się kierować ustalonymi kryteriami. Do podstawowych kryteriów zalicza się kryterium bezpieczeństwa, kryterium prawdopodobieństwa uszkodzenia oraz kryterium kosztów. Drugim zagadnieniem, które należy rozwiązać przy wyborze systemu diagnostycznego jest wariant jego technicznej realizacji, który wiąże się zarówno ponoszonymi kosztami jak również oczekiwaną skutecznością. W pracy przedstawione zostały założenia analiz RCM. Analizy takie pozwalają na dokonanie dekompozycji obiektu umożliwiającej wybór elementów do diagnostowania oraz określenie wszystkich możliwych z technicznego punktu widzenia metod diagnostycznych. W celu wybrania metody diagnostycznej odpowiadającej w najlepszy sposób stawianym kryteriom zaproponowano dokonanie optymalizacji wykorzystującej algorytm genetyczny.

Słowa kluczowe: Reliability Centered Maintenance, logika rozmyta, algorytmy genetyczne, optymalizacja

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS FOR SELECTING CONDITION BASED MAINTENANCE TECHNIQUES

Summary.

This paper presents application of Reliability centered Maintenance methodology in selecting optimal maintenance practices and strategies in large scale systems. Applying condition based maintenance techniques in all components of a system is not feasible technically and economically. The justification of any given maintenance strategy within an organization must consider multiple criteria. One of the basic criteria are safety, failure likelihood or cost. Fuzzy logic and genetic algorithm approach are proposed for solving this problem.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, fuzzy logic, genetic algorithms, optimization

1. WPROWADZENIE.

Wykorzystanie metod Diagnostyki stanu urządzeń technicznych ma znaczący wpływ na zapewnienie ich bezpiecznego oraz efektywnego ekonomicznie użytkowania. Rozwój narzędzi i metod diagnostycznych obserwowany w ostatnich latach powoduje, że coraz istotniejszym problemem staje się wybór najkorzystniejszego rozwiązania dostępnego na rynku. Wiąże się to z analizą zarówno możliwości technicznych jak również walorów użytkowych, oraz efektów ekonomicznych. Zagadnienia te szczegółowo zostały opisane w [1][2].

Duże obiekty techniczne składają się z bardzo wielu składników realizujących określone funkcje. Ze względu na ilość elementów diagnostowanie

wszystkich elementów nie jest w praktyce możliwe zarówno ze względów technicznych jak i ekonomicznych. Konieczne staje dokonanie wyboru elementów do diagnostowania oraz wybranie właściwej techniki. Uzasadnione jest wykorzystanie w tym celu wyników analiz RCM (ang. Reliability centered Maintenance). RCM jest to proces analiz techniczno ekonomicznych zmierzających do określenia wymagań eksploatacyjnych analizowanego systemu [3][4]. Jego bardzo silną stroną jest szczegółowa analiza warunków eksploatacyjnych. Celem analiz jest rozeznanie usterkowości systemu, określenie przyczyn i charakterystyk uszkodzeń, przeprowadzenie analizy ryzyka pozwalającej wskazać najbardziej istotne punkty systemu. W efekcie analizy takie wskazują na miejsca najbardziej niebez-

pieczne dla instalacji oraz pozwalają na określenie najbardziej korzystnego wariantu serwisowania. (ciągłe monitorowanie, okresowe monitorowanie, eksploatacja według rezerwów, eksploatacja do uszkodzenia). W celu wybrania metody diagnostycznej odpowiadającej w najlepszy sposób stawianym kryteriom w pracy zaproponowano dokonanie optymalizacji wykorzystującej algorytm genetyczny.

2. WIELOKRYTERIALNA OCENA TECHNIKI DIAGNOSTYCZNEJ.

Głównym czynnikiem decydującym o wyborze systemu diagnostycznego powinny być względy bezpieczeństwa oraz ekonomiczne. Aby system diagnostyczny mógł spełniać dobrze swoje zadania konieczna jest wnikliwa analiza charakterystyk powstawania uszkodzeń oraz symptomów towarzyszących uszkodzeniom, które system ma odpowiednio wcześniej rozpoznawać.

Takie właśnie informacje są bardzo dokładnie gromadzone w wyniku prowadzenia analiz RCM. W obecnej chwili na rynku dostępnych jest bardzo wiele różnych systemów diagnostycznych, bazujących na wielu różnych metodach pomiarowych. Każde z rozwiązań ma swoje zalety i ograniczenia, które istotnie wpływają na możliwość jego implementacji w przypadku konkretnego urządzenia. Zanim dokonamy analizy ekonomicznej opłacalności stosowania systemu diagnostycznego musimy zdecydować, który z dostępnych wariantów jest najefektywniejszy w świetle stawianych przed nim celów. Do podjęcia takiej decyzji konieczne jest stworzenie metody pozwalającej na dokonanie obiektywnej oceny proponowanych rozwiązań. Ze względu na niemierzalny w bezpośredni sposób charakter czynników decydujących o „jakości” systemów diagnostycznych w pracy zaproponowano model wykorzystujący ideę wnioskowania rozmytego [5]. Rozwiązanie takie pozwala na uzyskanie ilościowej oceny możliwych wariantów rozwiązań technicznych w oparciu o opisowe stwierdzenia dotyczące analizowanego rozwiązania.

Dla rozwiązania tak postawionego problemu przyjęto dwie zmienne lingwistyczne „WAŻNOŚĆ” (X) odnoszącą się do celów stawianych systemowi diagnostycznemu oraz „ZDOLNOŚĆ REALIZACJI CELU” (Y). Dla uproszczenia obliczeń przyjęto dyskretny model funkcji przynależności. Zmienna WAŻNOŚĆ przyjmuje następujące podstawowe wartości: *NIEWAŻNY*, *WAŻNY*, *KRYTYCZNY*. Dla drugiej zmiennej są to odpowiednio: *ŚLABA*, *ŚREDNIA*, *BARDZO DOBRA*. Aby zwiększyć dokładność opisu systemu można sztucznie wygenerować dodatkowe wartości zmiennych lingwistycznych wykorzystując odpowiednie modyfikatory. Początkiem procesu decyzyjnego jest określenie celów stawianych systemowi diagnostycznemu wraz z przypisaniem ważności każdego z kryteriów. Następnie wykorzystując informacje uzyskane od operatorów (np. w ramach analiz

RCM), dokonujemy oceny zdolności do realizacji każdego z celów przez każdy z analizowanych systemów diagnostycznych. Następnie dla każdego kryterium i każdego systemu wyznaczamy relację rozmytą wykorzystując funkcje przynależności korzystając z rozmytej implikacji Mamdaniego opisanej następującą zależnością:

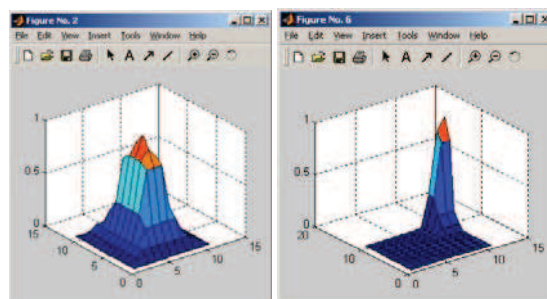
$$r_{ij} = \bigwedge_{ij} \mu_{A \Rightarrow B}(u, v) = \min(\mu_A(u), \mu_B(v)) \quad (1)$$

gdzie:

$\mu_A(u)$, $\mu_B(u)$ - funkcje przynależności

r_{ij} - relacja rozmyta

Otrzymujemy w ten sposób $i \times j$ relacji, z których każda jest rozmiaru $u \times v$. Przykładowe relacje pokazano na rys.1.



Rys 1. Przykładowa postać relacji rozmytych

Następnie przyjęto wartość rozmytą, określającą ważność związaną z wyborem systemu diagnostycznego, traktując ją jako wartość „idealną”. Następnie dla tej wartości i każdej z relacji rozmytych przynależnych do rozpatrywanego systemu diagnostycznego wyznaczono, rozwiązując rozmyte równanie relacyjne wartość zdolności realizacji każdego z celów według równania:

$$y_{ij} = r_{ij}^{-1} \otimes x_{id} \quad (2)$$

gdzie:

x_{ij} - idealna ważność

y_{ij} - zdolność realizacji i -tego kryterium

r_{ij} - rozmyta relacja wiążąca x_i, y_i

\otimes - operator kompozycji max-min

Następnie obliczono odległości pomiędzy środkami masy uzyskanych funkcji przynależności a środkiem masy funkcji przynależności reprezentującej idealną wartość zdolności realizacji kryterium. Uzyskana średnia wartość z i odległości obliczona według formuły (3) i (4) dobrze odwzorowuje miarę użyteczności danego systemu diagnostycznego.

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot V(i)}{\sum_{i=1}^n V(i)}, Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot V(i)}{n} \quad (3)$$

$$D = \sqrt{\left(|X_c - X'_c|\right)^2 + \left(|Y_c - Y'_c|\right)^2}$$

gdzie:

X_c, Y_c - środki masy funkcji przynależności

D – odległość od rozwiązania idealnego

Za najlepszy należy uznać ten system diagnostyczny, który będzie miał najmniejszą średnią wartość D po wszystkich kategoriach. W przypadku najbardziej optymistycznym będzie to wartość 0.

3. PROBLEM OPTIMALIZACJI.

Algorytmy ewolucyjne są wykorzystywane do efektywnego przeszukiwania przestrzeni alternatywnych rozwiązań [6]. Algorytmy te przetwarzają populację osobników, z których każdy jest jednym z możliwych rozwiązań analizowanego problemu. Każdemu z osobników populacji przypisywana jest wartość liczbowa nazywana przystosowaniem osobnika, określająca jakość reprezentowanego przez niego rozwiązania. Każdy osobnik reprezentowany jest w postaci zestawu chromosomów, a te składają się z pojedynczych genów. Działanie algorytmu genetycznego polega na wykonywaniu pętli, w której następują po sobie kolejno operacje reprodukcji, operacje genetyczne (mutacja i krzyżowanie), ocena rozwiązania i sukcesja. W wyniku tego z początkowej grupy osobników, po określonym czasie ewolucji uzyskujemy nową populację, w której średni poziom przystosowania jest dużo wyższy niż w populacji startowej.

Poniżej zaprezentowano sformułowanie zadanie optymalizacji umożliwiającego wybór najkorzystniejszego wariantu serwisowania, a co się z tym wiąże, rozstrzygnięcie o sensowności wykorzystania systemu diagnostycznego.

Funkcja celu została określona następująco:

$$\max z(t) = \frac{Q(t)}{K(t)} \quad (4)$$

gdzie:

$$Q(t) = \Phi(Q_i(t))$$

$$Q_i = w_i * R_i(t)$$

$$K(t) = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{t}$$

$$R_i(t) = \exp\left(-\left(\frac{\eta}{t}\right)^\beta\right)$$

i – ilość urządzeń

η, β - parametry rozkładu Weibulla

k_i - koszt związany z przyjęciem konkretnej strategii na i-tym urządzeniu

w_i - ocena jakości wybranej strategii na i-tym urządzeniu (otrzymana z modelu fuzzy)

t – przewidywany czas eksploatacji

Zadaniem algorytmu genetycznego jest wybór zestawu strategii eksploatacyjnych dającego największą korzyść dla całego systemu. W tym celu algorytm genetyczny wykorzystuje symulację Monte-Carlo [7] pozwalającą dokonać oszacowania kosztów oraz niezawodności systemu poddanego działaniu strategii przypisanych również poprzez algorytm genetyczny. Pod uwagę brane są trzy rodzaje strategii:

- a) eksploatacja do uszkodzenia, stanowiąca niejako strategię odniesienia
- b) prowadzenie planowych wymian elementów, przy czym czas wymiany jest parametrem wybieranym przez algorytm genetyczny
- c) diagnozowanie stanu

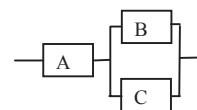
Dla każdej strategii określono jej jakość stosując metodykę opisaną w poprzednim punkcie.

Działanie algorytmu genetycznego polega na wylosowaniu dla każdego z urządzeń typu proponowanej strategii a następnie przy wykorzystaniu modelu symulacyjnego określenia jego funkcji przystosowania.

W rozważanym modelu przyjęto, że uszkodzenia wszystkich elementów odpowiadają modelowi reprezentującemu rozkład Weibulla o dwóch parametrach.

4. PRZYKŁAD.

W celu sprawdzenia proponowanej metodyki dokonano eksperymentu numerycznego bazując na danych testowych. Do przeprowadzenia eksperymentu przyjęto układ zbudowany z trzech urządzeń połączonych szeregowo-równolegle (rys.2).



Rys.2 Schemat układu

W tabeli 1 przedstawiono dane związane z urządzeniami i systemem.

Tabela 1. Parametry urządzeń

	Eta	beta	Kn	Kw	Kd/T
A	40000	1.9	30	25	5
B	21500	2.7	32	30	5
C	15000	2.2	40	20	5

Tabela 2 przedstawia wyniki oceny każdej z rozważanych strategii.

Tabela 2. Analiza rozmyta jakości strategii serwisowych

CEL	WAGA	SN	SZ	SD
Zw. niezawodności	ważny	Słabo	średnio	średnio
Obniżenie kosztów serwisowych	Krytyczny	Średnio	Średnio	średnio
Zwiększenie bezpieczeństwa	ważny	bardzo słabo	Średnio	dobrze
Podniesienie jakości produktu	Nie-ważny	Słabo	Słabo	Bardzo dobrze
Łatwość implementacji	Krytyczny	bardzo dobrze	Bardzo dobrze	słabo
	wynik	0.3835	0.5844	0.6332

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu, znaleziono rozwiązanie o najmniejszym koszcie całkowitym. Dla urządzenia A są to planowe wymiany, co ok. 11500 (jednostek czasu), dla urządzenia B jest to instalacja systemu diagnostycznego, natomiast dla urządzenia C są to również planowe wymiany, co 20000 (jednostek czasu). Wyniki te uzyskano dla algorytmu o rozmiarze populacji 20 i 150 generacjach.

5. WNIOSKI.

Proponowane rozwiązanie umożliwia dokonanie obiektywnego wyboru najkorzystniejszych działań serwisowych. Wykorzystany mechanizm wnioskowania rozmytego pozwala na dokonanie wielokryterialnej oceny oraz wybór strategii najkorzystniejszej realizującej cele przedsiębiorstwa. Dzięki wykorzystaniu techniki symulacyjnej możliwe jest uwzględnienie różnych wariantów serwisowych oraz znalezienie rozwiązania najkorzystniejszego zarówno z punktu widzenia ekonomiki jak i implementacji technicznej. Wykorzystanie algorytmu genetycznego pozwala zmniejszyć dokładność symulacji Monte Carlo a tym samym również skrócić czas jej wykonywania. Zaletą takiego rozwiązania jest również możliwość znalezienia wielu rozwiązań równoważnych.

LITERATURA

[1]. Niziński S.: *Elementy eksploatacji obiektów technicznych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. ISBN 83-88343-50-5, Olsztyn 2000.

- [2]. Żółtowski B.: *Podstawy Diagnostyki Maszyn*. ISBN 83-900853-9-9. Bydgoszcz 1996.
- [3]. Moubray J.: *Reliability-centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 3358 1, 1999.
- [4]. Smith D.J.: *Reliability, Maintainability and Risk*. Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 5168 7, 2001.
- [5]. Mechefske C., Wang Z.: *Using fuzzy linguistic to select optimum maintenance and condition monitoring strategies*. Mechanical Systems and Signal Processing, vol 17(2), p305-316, Elsevier Science Ltd. 2003.
- [6]. Arabas J.: *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 83-204-2604-9, Warszawa 2001.
- [7]. Drapella A.: *Lifetime models and renewal processes*. ISBN 83-88731-02-5. Słupsk 2002.



Prof. dr hab. inż. Tadeusz UHL jest kierownikiem Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn, Akademii Górniczo - Hutniczej w Krakowie. W swoich pracach zajmuje się zagadnieniami dynamiki konstrukcji, a zwłaszcza ich analizy modalnej. Jego zainteresowania obejmują także układy aktywnej redukcji drgań, układy sterowania i szeroko pojętą mechatronikę. Jest autorem 15 książek i kilkuset artykułów dotyczących wspomnianych zagadnień.



mgr inż. Adam PIETRZYK jest doktorantem w Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn Akademii Górniczo-Hutniczej. W swojej pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami ekonomiki eksploatacji.