

ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH W TABLICOWYCH METODACH DIAGNOZOWANIA

Streszczenie:

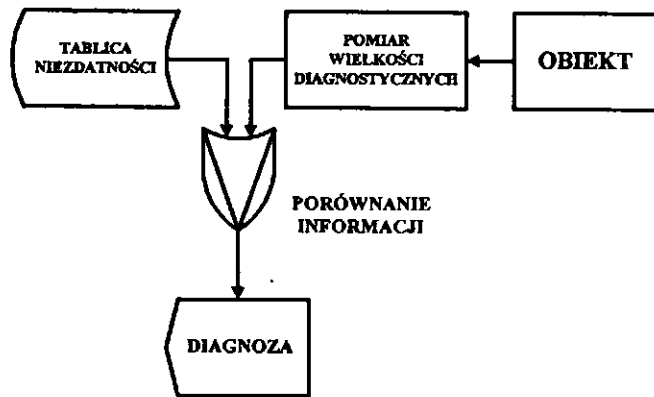
Zaproponowano zastosowanie algorytmu genetycznego do planowania eksperymentów w diagnostyce. Przedstawiono wyniki komputerowej symulacji procesu planowania.

Abstract:

Genetic algorithm application is proposed for planing experiments in diagnostics. Process of make a plan of experiment was simulated. Findings of computer simulation are represented.

1. WPROWADZENIE

Jedną z wielu klas metod diagnozowania obiektów technicznych, w tym i obiektów automatyki, stanowią metody tablicowe [10, 11]. Istotą tych metod jest kojarzenie uzyskanych wyników badania diagnostycznego z informacją zawartą w tablicy (słowniku niezdatności). Proces przeglądania tablicy kontynuuje się do chwili uzyskania zgodności wyniku badania z wzorcem identyfikującym stan obiektu (rys.1).



Rys.1. Schemat tablicowej metody diagnozowania

Tablica niezdatności zawiera deskrypcje D opisujące poszczególne wyróżnione stany techniczne s

$$D = \{(d_1, \varepsilon_1(s)), (d_2, \varepsilon_2(s)), \dots, (d_i, \varepsilon_i(s))\} \quad (1)$$

gdzie: d_i - i -ta wielkość diagnostyczna;

$\varepsilon_i(s)$ - wartość i -tej wielkości diagnostycznej w stanie s .

Różnica między informacją o stanie a jego opisem ma charakter jedynie formalny. Informacja jest funkcją, natomiast opis jest tworem językowym wyznaczonym jednoznacznie przez tą funkcję. Pamiętać jednak należy, że jeden stan techniczny może posiadać wiele różnych deskrypcji, które tworzą jego całkowity opis.

W metodach należących do tej klasy o jakości diagnozowania decydują następujące procesy:

- tworzenie tablicy niezdatności;
- badanie diagnostyczne;
- wnioskowanie diagnostyczne.

Badanie diagnostyczne jest procesem występującym nie tylko w tej klasie metod i dostatecznie wyczerpująco opisanym w literaturze. Wnioskowanie diagnostyczne obejmuje przeglądanie tablicy i porównywanie danych. Jest ono zagadnieniem ściśle związanym z organizacją pamięci komputera i metodami dostępu do danych. Natomiast tworzenie tablicy niezdatności pozostaje kluczowym zagadnieniem dla klasy metod tablicowych.

2. KONSTRUOWANIE TABLICY NIEZDATNOŚCI

Proces tworzenia tablicy niezdatności, polegający na gromadzeniu i grupowaniu deskrypcji stanów technicznych obiektu, będzie nazywany **eksperymentem diagnostycznym**. W przeciwieństwie do badania diagnostycznego, realizowanego w czasie użytkowania obiektu, eksperyment diagnostyczny jest realizowany w czasie analizy diagnostycznej na obiekcie, grupie obiektów tego samego typu lub na modelu obiektu.

Wyróżnia się bierno i czynne eksperymenty diagnostyczne; w biernych eksperymentach ogranicza się jedynie do zbierania informacji. W czynnych eksperymentach ustala (wymusza) warunki a następnie bada wartości wielkości diagnostycznych. Pojedyncze badanie nazywa się **doświadczeniem**, a jego rezultat **wynikiem doświadczenia**.

Wykonanie czynnych eksperymentów diagnostycznych wymaga opracowania planu. Powinien on uwzględniać oddziaływanie otoczenia, do którego zaliczono:

- warunki atmosferyczne;
- warunki zasilania;
- zakłócenia;
- wymuszenia technologiczne.

Plan eksperymentu stanowi uporządkowany ciąg wektorów określających wartości ustalonych warunków poszczególnych doświadczeń. Zbiór doświadczeń, które należy wykonać ażeby otrzymać Q deskrypcji oznaczono

$$V = \{W_q\} ; q = 1, 2, \dots, Q \quad (2)$$

gdzie: W_q - q -te doświadczenie.

Każde doświadczenie W_q opisuje wektor wartości wielkości charakteryzujących oddziaływające czynniki otoczenia, na przykład temperatury, ciśnienia atmosferycznego, wilgotności, napięcia zasilającego, składu mieszanki paliwowej, itp.

$$W_q = [w_{1q} \ w_{2q} \ \dots \ w_{Gq}] = [w_{gq}]_G \quad (3)$$

gdzie: w_{gq} - wartość g -tego czynnika w q -tym doświadczeniu;

G - liczba rozpatrywanych czynników wewnątrznych.

Każda z G wielkości określających oddziaływające czynniki zewnętrzne przyjmuje, dla $q = 1, 2, \dots, Q$, wartości ze zbioru

$$w_g \in \{w_g^1, w_g^2, \dots, w_g^E\} = R_g \quad (4)$$

gdzie: E - liczność zbioru wartości wielkości w_g .

Plan eksperymentu będzie więc zapisany

$$\begin{aligned} w_1 &= [w_{11} \quad w_{21} \quad \dots \quad w_{G1}] \\ w_2 &= [w_{12} \quad w_{22} \quad \dots \quad w_{G2}] \\ &\vdots \\ w_Q &= [w_{1Q} \quad w_{2Q} \quad \dots \quad w_{GQ}] \end{aligned} \quad (5)$$

Zbiór wartości przyjmowanych przez wielkość w_g ($g = 1, 2, \dots, G$) będzie nazywany repertuarem wielkości w_g [4] i oznaczany R_g (4), natomiast E - licznością repertuaru.

3. WYZNACZANIE REPERTUARU

Pierwszym etapem procesu tworzenia tablicy niezdatności jest wyznaczenie repertuarów dla wszystkich wielkości charakteryzujących oddziaływujące czynniki otoczenia. Etap ten wymaga nie tylko wiedzy teoretycznej, ale głównie doświadczenia praktycznego w eksploatacji danej klasy obiektów i przewidywanych warunków użytkowania dla analizowanego obiektu.

Wiedza ta powinna wystarczyć do ustalenia dopuszczalnego przedziału zmian

$$Z_g = \langle w_g^-, w_g^+ \rangle \quad (6)$$

gdzie: w_g^- - minimalna wartość wielkości w_g ;

w_g^+ - maksymalna wartość wielkości w_g .

Następnie należy wyznaczyć wartość typową w_g^* , którą dana wielkość przyjmuje najczęściej w sensie statystycznym. Najczęściej wartość ta jest równa wartości średniej lub warunkom uznany za normalne dla danego obiektu.

Kolejnym krokiem jest określenie licznosci repertuaru. Czym jest on liczniejszy tym teoretycznie lepsza jakość eksperymentu. W praktyce duża licznosc znacznie zwiększa koszty wykonania eksperymentu. Istotnym ograniczeniem jakie należy uwzględnić jest realna możliwość wykonania nastaw i pomiarów rozpatrywanej wielkości. Najczęściej dokładność nastaw jest mniejsza i ją wykorzystuje się przy określaniu licznosci repertuaru. Stąd licznosc repertuaru E wylicza się z zależności

$$E = \text{mic} \left(\frac{w_g^+ - w_g^-}{2\alpha} \right) \quad (7)$$

gdzie: α - dokładność pomiaru lub nastaw danej wielkości;

$\text{mic}(\bullet)$ - minimalna liczba całkowita nie mniejsza od (\bullet) .

Korzystając z doświadczenia lub uwzględniając możliwości ekonomiczne tak wyznaczoną licznosc E można skorygować zmniejszając jej wartość.

Następnie wyznacza się zbiór R_g dzieląc przedział Z_g na $(E - 1)$ równych części; do zbioru tego powinny należeć wartości w_g^-, w_g^*, w_g^+ .

4. OPRACOWANIE PLANU EKSPERYMENTU

Teoretycznymi zagadnieniami techniki planowania eksperymentu zajmuje się wielu autorów [3, 4, 5] głównie dla potrzeb identyfikacji i optymalizacji modeli obiektów. Wyróżniają oni dwa podstawowe rodzaje planów eksperymentów: plany statyczne i plany dynamiczne. Planem statycznym nazywany jest plan, w którym wektory W_1, W_2, \dots , są ustalone przed eksperymentem, natomiast jako plan dynamiczny określony jest plan, w którym wektory te są ustalane na bieżąco w toku przeprowadzania eksperymentu. Ze względu na specyfikę eksperymentów diagnostycznych mają one zazwyczaj charakter statyczny.

Do wyznaczenia planu eksperymentu przyjęto następujące dane:

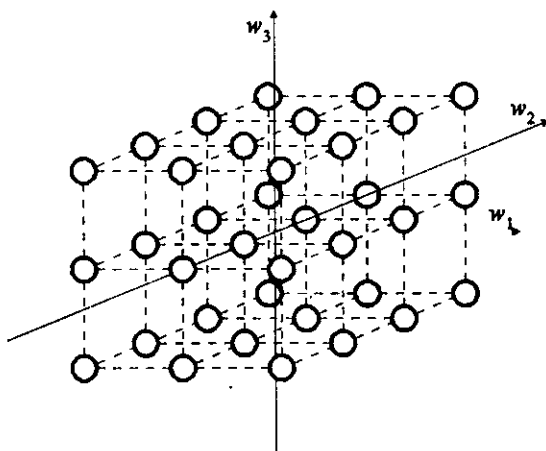
- zbiór U wielkości w_g , gdzie $g = 1, 2, \dots, G$;
- dla każdej wielkości w_g repertuar R_g o liczności E_g .

Wielkości $w_g \in U$ wyznaczają G -wymiarową przestrzeń U . Każdemu doświadczeniu w przestrzeni U będzie odpowiadał wektor W_q (5) o składowych należących do zbioru R .

$$R = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_G \quad (8)$$

Zbiór wszelkich możliwych wektorów W_q opiera się zatem na węzłach G -wymiarowej siatki prostopadłościowej o współrzędnych opisanych repertuarami R_g , jak przedstawiono to na rysunku 2. Liczności repertuarów E_g określają tak zwane poziomy eksperymentu [4]. Plan eksperymentu jest uporządkowanym zbiorem wektorów o końcach opartych na węzłach tej siatki, przy czym liczba różniących się między sobą doświadczeń wynosi Q .

$$Q = \prod_{g=1}^G E_g \quad (9)$$



Rys.2. Siatka doświadczeń planu eksperymentu (3, 4, 3)-poziomowego

Wyznaczony plan nazywa się **planem pełnym** [4], wykonuje się zgodnie z nim wszystkie różniące się między sobą doświadczenia. Eksperyment pełny wymaga wykonania stosunkowo dużej liczby Q doświadczeń (9) i jak można przypuszczać zawiera niekiedy nadmiarowość dostarczanej informacji. Liczbę doświadczeń można zmniejszyć opracowując **plan cząstkowy** [4], zawierający określoną liczbę doświadczeń z planu pełnego.

Plan pełny składa się z doświadczeń W_g , które tworzą Q -elementowy zbiór V (2). Jest to zbiór uporządkowany przez ustaloną kolejność wykonywania doświadczeń i dlatego można plan

doświadczenia opisać macierzą V , której kolumny odpowiadają wielkościom w_g , natomiast wiersze kolejnym doświadczeniom

$$V = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \dots & w_{G1} \\ w_{12} & w_{22} & \dots & w_{G2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{1Q} & w_{2Q} & \dots & w_{GQ} \end{bmatrix} = [w_{gq}]_{G \times Q} \quad (10)$$

Plan cząstkowy eksperymentu tworzy się z wybranych wierszy planu pełnego. Wybór jednak nie może być zupełnie dowolny, powinien on podlegać ograniczeniom formalnym, które wynikają z dążenia do efektywności eksperymentu.

Podstawowymi warunkami ograniczającymi są:

- wzajemna ortogonalność kolumn planu, która zapewnia uproszczenie obliczeń;
- żądanie, by w serii doświadczeń, z jakich składa się eksperyment, każda wielkość w_x przyjmowała wartości symetrycznie względem poziomu średniego
- jednakowy "rozmach" [4] wyboru każdej wielkości w_x .

Przy tych ograniczeniach liczba dopuszczalnych planów cząstkowych znacznie maleje, co nie oznacza jednak, że plan cząstkowy jest jednoznacznie możliwy do wyznaczenia. Dalsze ograniczenia liczby możliwych planów uzyskuje się nakładając na plany te warunki w formie wielokrotności powtórzeń w planie cząstkowym każdej z wartości. Najprostsze plany cząstkowe zawierają każdy element repertuaru tylko raz. Szersze omówienie metod ograniczenia planów oraz ich optymalizacji znajduje się w literaturze [3, 4, 5] i innej.

5. KONCEPCJA ZASTOSOWANIA ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH

Podstawowym celem wykonywania eksperymentu diagnostycznego jest modelowe przedstawienie rzeczywistości, które ma ją możliwie wiernie odtwarzać. To stwierdzenie posiada szczególną wagę w przypadku metod tablicowych, których wiarygodność w bardzo dużym stopniu zależy od realizacji eksperymentu. Jeszcze większe znaczenie ma wiarygodność danych w przypadku, gdy obiektem diagnozowania jest układ automatyki - najczęściej zapewniający bezpieczeństwo ludzi i maszyn, który powinien działać poprawnie i niezawodnie.

Opracowując tablicową metodę diagnozowania analogowych obiektów technicznych [10], do których w znaczącej liczbie należą układy automatyki, autor zwrócił uwagę na częstotliwość występowania różnych stanów technicznych. Decyduje ona w znaczącym stopniu o charakterystykach algorytmu decyzyjnego, a tym samym o wiarygodności wypracowanych diagnoz. Zastosowane wówczas uwzględnianie rozkładów niezdatności obiektów, uzyskane w wyniku długoletnich badań niezawodnościowych, nie zawsze jest możliwe. Teraz wydaje się możliwym inne rozwiązanie.

Opiera się ono na spostrzeżeniu, że przedstawiony powyżej program diagnozowania posiada przypadkową kolejność wykonywania doświadczeń. Stoi to w sprzeczności z fizyką zjawisk zachodzących w przyrodzie. Spełniają one dwa bardzo ważne prawa:

- prawo ciągłości;
- prawo dziedziczności.

Są to prawa tak oczywiste, że aż często niezauważalne. Ponieważ stanowią one podstawę genetyki, algorytmny uwzględniające te prawa nazywa się algorytmami genetycznymi. Stosując je przyjęto założenie, że wszystkie wielkości charakteryzujące oddziaływujące czynniki otoczenia zmieniają się niezależnie.

5.1. Algorytm genetyczny

Planując eksperyment ciąg kolejnych doświadczeń będzie odzwierciedlał zmiany genetyczne zachodzące w przyrodzie [2]. Pierwsze doświadczenie wykonywane będzie dla warunków najbardziej prawdopodobnych. Warunki dla każdego następnego doświadczenia będą określone poprzez warunki w doświadczeniu poprzednim. To znaczy dla każdej wielkości niezależnie będą one pozostawały takie same, zwiększone lub zmniejszone. O kierunku zmian lub ich braku będzie decydowało losowanie.

Prawo ciągłości zostanie zachowane poprzez umożliwienie zmian każdej z wielkości wyłącznie o jedną jednostkę. W ten sposób historia eksperymentu będzie tworzyć trajektorię na siatce doświadczeń bez ograniczenia powtórzeń.

Po dojściu do „krawędzi” siatki, następne doświadczenie będzie wykonywane w punkcie odpowiadającym wartościom średnim dla wszystkich wielkości.

Ten sposób planowania eksperymentu jest udoskonalonym tzw. błędzeniem przypadkowym. W pierwszym podejściu przyjęto równe prawdopodobieństwo każdego ruchu i postoiu wynoszące 1/3.

5.2. Weryfikacja metody

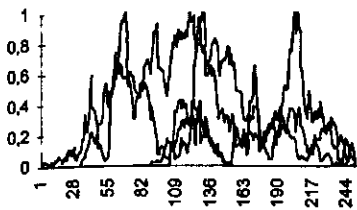
Zgodnie z przyjętymi założeniami wykonano symulację komputerową planu eksperymentu, której wyniki zamieszczono na poniższych rysunkach. Z powodu łatwości zobrazowania przedstawiono wyłącznie wyniki symulacji dla przypadku jednowymiarowego. Przypadki wielowymiarowe dają podobne rezultaty.

Planowano eksperymenty dla repertuaru o liczności $E = 250$, ograniczając liczbę powrotów P do wartości średniej, oraz zmieniając wartość średnią w_g^* . Warunki symulacji zamieszczono w tabelcy 1, natomiast wyniki na rysunkach 3 + 9. Rysunki te przedstawiają unormowane częstości powtórzeń poszczególnych doświadczeń z wybranego repertuaru.

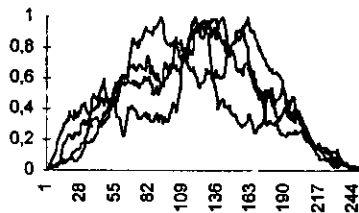
Liczba doświadczeń jaka jest potrzebna, aby uzyskać rozkład trójkątny jest bardzo duża i umożliwia wyłącznie software'ową realizację eksperymentu według takiego planu. Nie jest to przeszkodą zważywszy, że właśnie te metody najprężniej się rozwijają i najczęściej są stosowane.

Tablica 1. Warunki symulacji planów eksperymentów

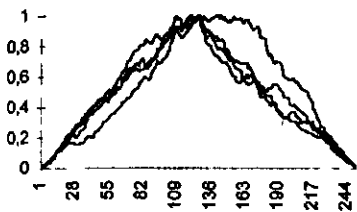
Nr planu	w_g^*	P	liczba doświadczeń				Nr rysunku
1+4	125	0	4893	8664	31428	48457	rys.3
5+8	125	10	148262	307676	322120	402137	rys.4
9+12	125	100	2398924	2096768	2497243	2257473	rys.5
13+16	125	1000	24202418	24125154	24631201	24589237	rys.6
17	125	10000	235984084				rys.7
18+21	50	200	2851947	2668106	2517627	2899955	rys.8
22+25	200	200	3132987	3371238	3569472	3019187	rys.9



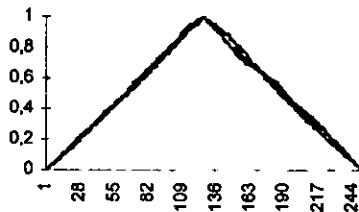
Rys.3. Wyniki symulacji 1+4



Rys.4. Wyniki symulacji 5+8



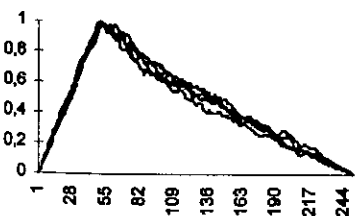
Rys.5. Wyniki symulacji 9+12



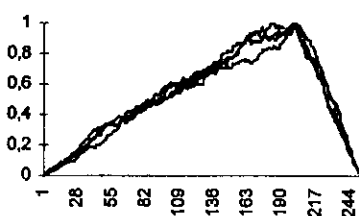
Rys.6. Wyniki symulacji 13+16



Rys.7. Wyniki symulacji 17



Rys.8. Wyniki symulacji 18+21



Rys.9. Wyniki symulacji 22+25

6. WNIOSKI

Analiza teoretyczna i symulacja komputerowa wykazały możliwość zastosowania proponowanego algorytmu do planowania eksperymentu, jednak z ograniczeniem do eksperymentów software'owych. Uzyskane rozkłady częstości dość wiernie oddają występujące w przyrodzie

zmiany warunków zewnętrznych, zasilania, wymuszeń technologicznych i niektórych rodzajów zakłóceń. Przykładem może być rozkład temperatury w pomieszczeniu magazynowym. Dalszej analizie wymaga uwzględnienie innych wariantów błędzenia [2], np.:

- innego rozkładu prawdopodobieństwa zmiany warunków;
- większej liczby dopuszczalnych zmian (o dwie, o trzy wartości);
- występowania czynników zależnych;
- wyniku doświadczenia;
- wystąpienia stosunkowo szybkich zmian czynników (zaburzenia skokowe); itp.

Są to zagadnienia obejmujące dopiero rozwijające się w Polsce dyscypliny naukowe: teorię algorytmów genetycznych [2] i teorię chaosu zdeterminowanego. Mogą one odegrać dużą rolę nie tylko w diagnostyce technicznej ale i w innych dziedzinach techniki, ekonomii i medycyny.

LITERATURA

- [1] Chorowski B., Werszko M.: *Mechaniczne urządzenia automatyki*. WNT, Warszawa 1990
- [2] Goldberg D.E.: *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*. WNT, Warszawa 1995
- [3] Kacprzyński B.: *Planowanie eksperymentów, podstawy matematyczne*. WNT, Warszawa 1974
- [4] Kulikowski J.L.: *Komputery w badaniach doświadczalnych*. WN PWN, Warszawa 1993
- [5] Mańczak K.: *Technika planowania eksperymentu*. WNT, Warszawa 1976
- [6] Młokosiewicz J.R., Tomkiewicz K.: *Indukcyjny system informacyjny w diagnozowaniu złożonych obiektów technicznych*. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*. Z.1(101), s.137-148. PWN 1995
- [7] Niederliński A.: *Systemy komputerowe automatyki przemysłowej*. WNT, Warszawa 1984
- [8] Papoulis A.: *Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne*. WNT, Warszawa 1972
- [9] Pawlak Z.: *Systemy informacyjne. Podstawy teoretyczne*. WNT, Warszawa 1983
- [10] Tomkiewicz K.: *Tablicowa metoda diagnozowania analogowych obiektów technicznych na przykładzie urządzenia mechanicznego*. WAT, Warszawa 1994
- [11] Zielonko R., Królikowski A.: *Metody pomiarowo diagnostyczne analogowych układów elektronicznych*. WNT, Warszawa 1988