

Analiza porównawcza warunkowych programów diagnozowania złożonych obiektów technicznych

Streszczenie: W pracy przedstawiono i porównano warunkowe programy diagnozowania złożonych obiektów technicznych. W analizach wskazano sposób określania oczekiwanych kosztów programów na podstawie prawdopodobieństw rozróżnialnych stanów obiektu.

Comparative analysis of conditional programmes for diagnose composed technical objects

Summary: Conditional programmes for diagnose composed technical objects are described and compared in this work. A way to designate expected costs of diagnostic programmes on the ground of probability differentiated states of objects are showed in this analysis

1. UWAGI WSTĘPNE

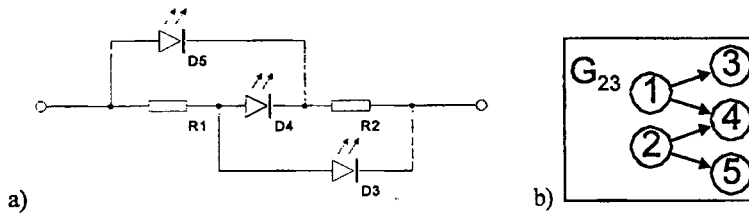
Cechą charakterystyczną warunkowych programów diagnostycznych jest to, że poza ich pierwszym krokiem każdy następny jest wynikiem analiz rezultatów kroku poprzedniego. Przedmiotem porównań będą programy warunkowe zróżnicowane stopniem wypełnienia zadań diagnostycznych. Pod pojęciem tego stopnia rozumiana będzie przede wszystkim liczebność rozróżnianych stanów niezawodnościowych obiektu.

Diagnozowaniu podlega złożony obiekt techniczny, którego strukturę odwzorowuje graf Hertza G_{xy} [2], gdzie x i y oznaczają odpowiednio liczbę warstw i liczbę wyjść obiektu.

Ponadto przyjmuje się następujące założenia:

1. Wierzchołek grafu odwzorowuje element jednowyjściowy;
2. Element obiektu uważany jest za niezdatny jeżeli wszystkie jego sygnały wejściowe są dopuszczalne, natomiast sygnał wyjściowy - niedopuszczalny;
3. Chociażby jeden niedopuszczalny sygnał wejściowy elementu prowadzi do powstania niedopuszczalnego sygnału wyjściowego;
4. Diagnozowanie odbywać się będzie na podstawie logiki dwuwartościowej, z konsekwencji stosowania, której wynika, że:
 - a) element e_i obiektu może znajdować się w stanie zdatności lub stanie niezdatności;
 - b) sprawdzenie d_i , rozumiane jest jako kontrola sygnału wyjściowego elementu e_i , może mieć wynik pozytywny lub negatywny.
5. Wyniki sprawdzeń są w pełni wiarygodne.

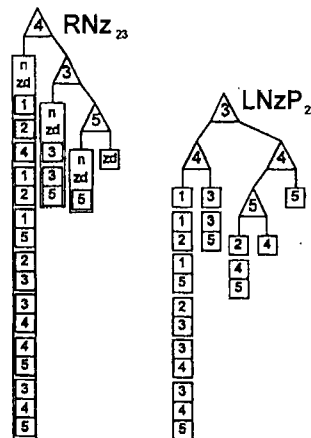
Ilustracją porównań będą programy diagnozowania dwójnika, którego model i schemat ideowy przedstawiono na rysunku 1. Numeracja wierzchołków jest zgodna z numeracją elementów schematu ideowego.



Rys. 1. Obiekt badań diagnostycznych, a) schemat ideowy, b) graf- model.

2. NIEPEŁNE WARUNKOWE PROGRAMY DIAGNOSTYCZNE

Programy niepełne charakteryzuje najniższa liczebność rozróżnialnych stanów. W ich skład wchodzi rozpoznanie niezdatności (RNz) i lokalizowanie niezdatności pojedynczych (RNzP). Rozpoznanie niezdatności wyróżnia tylko dwa stany: stan zdatności i stan niezdatności. Liczba stanów rozróżnianych przez lokalizowanie niezdatności pojedynczych jest równa liczbie wyróżnionych elementów obiektu. Cechą wyróżniającą ten program jest zwykle niepełna analiza wyników zminimalizowanego zbioru sprawdzeń. Dla analizowanego obiektu zminimalizowanym zbiorem sprawdzeń są sprawdzenia obecności sygnałów świetlnych diod elektroluminescencyjnych: D_3 , D_4 i D_5 .



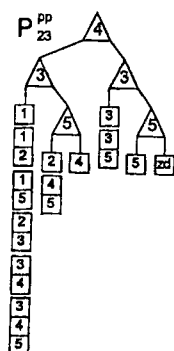
Rys.2. Niepełne programy diagnozowania obiektu o strukturze digrafu G_{23} , gdzie RNz_{23} i $LNzP_{23}$ odpowiednio: rozpoznanie niezdatności i lokalizowanie niezdatności pojedynczych.

W programach diagnostycznych, danych dendrytami, trójkąty oznaczają sprawdzenia, gałęzie wychodzące z trójkątów - wyniki tych sprawdzeń, natomiast prostokąty - zbiory niezdatnych elementów obiektu. Numer, w zależności od tego, czy znajduje się we wnętrzu trójkąta, czy też prostokąta, oznacza odpowiednio numer sprawdzenia lub numer elementu. Przyjęto, że

każda lewa gałąź dendrytu oznacza negatywny, zaś prawa - pozytywny wynik sprawdzenia. Cechą wyróżniającą każdy program, poza programem pełnym, może być niejednoznaczność diagnoz. Dlatego też fakt ten sygnalizowany jest często obecnością w prostokątach nie jednego lecz zazwyczaj kilku stanów. Uwaga ta ma istotne znaczenie dla określenia prawdopodobieństwa wystąpienia konkretnej kombinacji wyników sprawdzeń.

3. PÓŁPEŁNE WARUNKOWE PROGRAMY DIAGNOSTYCZNE

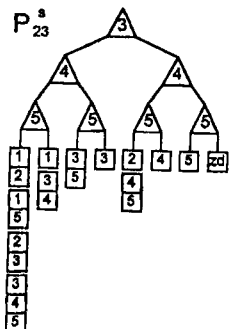
Programy półpełne łączą właściwości obu wcześniej wymienionych programów - rozpoznania niezdatności i lokalizowania niezdatności pojedynczych. Przyjmując n jako liczbę wyróżnionych elementów obiektu można powiedzieć, iż liczba rozróżnianych stanów programu półpełnego jest równa $n+1$. W programie półpełnym nie występuje sytuacja powtarzania sprawdzeń rozpoznania niezdatności podczas lokalizowania niezdatności - druga z wymienionych czynności uwzględnia wyniki pierwszej z nich.



Rys.3. Półpełny program diagnozowania obiektu o strukturze digrafu G_{23} .

4. SKRÓCONE WARUNKOWE PROGRAMY DIAGNOSTYCZNE

Programy skrócone rozszerzają możliwości programów półpełnych o pełną analizę wyników zminimalizowanego zbioru sprawdzeń. Programy te wyróżniają zwykle więcej niż $n+1$ stanów niezawodnościowych. Dla analizowanego obiektu, przy trzech sprawdzeniach w zminimalizowanym zbiorze sprawdzeń, można maksymalnie wyróżnić 2^3 stanów.



Rys. 4. Skrócony program diagnozowania obiektu o strukturze digrafu G_{23} .

$$p_i = \exp(-\lambda_i t) \quad (7)$$

natomiast prawdopodobieństwo q_i niezdatności

$$q_i = 1 - \exp(-\lambda_i t) \quad (8)$$

Prawdopodobieństwo r_m wystąpienia rozróżnialnego stanu ε_m

$$r_m = \prod_{i: e_i \in E \setminus \bigcup_{j: e_j \in E_{nz}} \mathcal{A}(e_j)} p_i \prod_{j: e_j \in E_{nz}} q_j \quad (9)$$

gdzie:

- E_{nz} - zbiór niezdatnych elementów obiektu,
- $\mathcal{A}(e_i)$ - zamknięcie tranzytywne elementu e_i .

Prawdopodobieństwo zdatności obiektu przy założeniu jego szeregowej struktury niezawodnościowej

$$p_o = \exp\left(-\left(\sum_{i=1}^I \lambda_i\right)t\right) = \prod_{i=1}^I p_i = \prod_{i=1}^I (1 - q_i) \quad (10)$$

Powszechnie można przyjąć, że dla stanu zdatności obiektu $m=I$, zatem

$$r_I = p_o \quad (11)$$

Zbiór stanów obiektu $\varepsilon_m \in M$ tworzy zupełny układ zdarzeń, dlatego też zgodnie z warunkiem normalizacyjnym zachodzi zależność:

$$\sum_{m=1}^M r_m = 1 \quad (12)$$

Szacowanie kosztów obiektu o strukturze digrafu G_{23} można uprościć przyjmując, że

$$p_1 = p_2 = p_r \quad (13)$$

$$q_r = 1 - p_r \quad (14)$$

$$p_3 = p_4 = p_5 = p_d \quad (15)$$

$$q_d = 1 - p_d \quad (16)$$

Prawdopodobieństwa p_r i p_d oblicza się według zależności (7), przyjmując wartości λ_i zawarte w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie właściwości elementów obiektu

Nazwa elementu	Liczba	Numer	Symbol	$\lambda \cdot 10^{-6} [\text{h}^{-1}]$
Rezystor	2	1, 2	R1, R2	0,03
Dioda elektroluminescencyjna	3	3, 4, 5	D1, D2, D3	0,15

Tabela 2

Prawdopodobieństwa
rozdzielnych stanów obiektu
 G_{23}

m	E_{rz}	r_m
1	-	$p_r^2 p_d^3$
2	e_1	$p_r q_r p_d$
3	e_2	$p_r q_r p_d$
4	e_3	$p_r^2 q_d p_d^2$
5	e_4	$p_r^2 q_d p_d^2$
6	e_5	$p_r^2 q_d p_d^2$
7	e_1, e_2	q_r^2
8	e_1, e_5	$p_r q_r q_d$
9	e_2, e_3	$p_r q_r q_d$
10	e_3, e_4	$p_r^2 p_d q_d^2$
11	e_3, e_5	$p_r^2 p_d q_d^2$
12	e_4, e_5	$p_r^2 p_d q_d^2$
13	e_3, e_4, e_5	$p_r^2 q_d^3$

Tabela 3

Oc Oczekiwane koszty realizacji programów
diagnozowania obiektu G_{23} w funkcji
przerw między badaniami

t [h]	k_{pn} [ju]	k_{ppp} [ju]	k_{ps} [ju]	k_{pp} [ju]
2^7	3.000	3.000	3	3.05
2^8	3.000	3.000	3	3.11
2^9	3.000	3.000	3	3.21
2^{10}	3.001	3.000	3	3.43
2^{11}	3.001	3.000	3	3.86
2^{12}	3.003	2.999	3	4.72
2^{13}	3.005	3.000	3	6.44
2^{14}	3.010	2.997	3	9.87
2^{15}	3.020	2.994	3	16.71
2^{16}	3.040	2.988	3	30.33

Wykorzystując prawdopodobieństwa wszystkich rozróżnialnych stanów (tabela 2), oraz przyjmując, że koszty sprawdzeń d_3 , d_4 i d_5 wynoszą 1 jednostkę umowną [ju], natomiast pozostałych sprawdzeń - d_1 i d_2 - po 1000 ju, oczekiwane koszty badań diagnostycznych przyjmują postacie zależności (17÷19). Znaczna dysproporcja kosztów sprawdzeń wynika z charakteru sprawdzenia sygnałów wyjściowych elementów e_3 , e_4 i e_5 , jakimi są sygnały świetlne. Percepcja narządu wzroku jest bardzo krótka w porównaniu z czasem pomiaru spadków napięć na rezystorach R1 i R2.

$$k_{npp} = p_r^2 (3(p_d^3 + q_d^3) + 13 q_d p_d^2 + 11 p_d q_d^2) + p_r q_r (7 p_d + 6 q_d) + 3 q_r^2 \quad (17)$$

$$k_{ppp} = p_r^2 (3 p_d^3 + 8 q_d p_d^2 + 2 q_d^3 + 5 p_d q_d^2) + p_r q_r (5 p_d + 4 q_d) + 2 q_r^2 \quad (18)$$

$$k_{pp} = p_r^2 (3 p_d^3 + 2009 q_d p_d^2 + 4009 p_d q_d^2 + 2003 q_d^3) + 4004 p_r q_r + 2001 q_r^2 \quad (19)$$

W tabeli 3 zamieszczono oczekiwane koszty realizacji zaprezentowanych programów diagnozowania obiektu G_{23} , gdzie t - oznacza przerwę między kolejnymi badaniami, pn - program niepełny, ppp - program półpełny, ps - program skrócony, natomiast pp - program pełny. Na podstawie poczynionych obserwacji można wysnuć wniosek, iż dla niewielkich przerw między kolejnymi badaniami oczekiwane koszty diagnozowania oscylują wokół kosztu rozpoznania niezdatności. Z upływem czasu istotny wzrost kosztów zaznacza się jedynie w przypadku realizacji pełnego programu diagnostycznego.

Wzrost kosztów pełnego programu diagnostycznego rekompensowany jest jednak jednoznacznością jego diagnoz. W tym programie nie ma problemu wyboru jednej z możliwych przyczyn stanu niezdatności obiektu, tak jak może mieć to miejsce w pozostałych programach. W programie niepełnym lub półpełnym negatywne wyniki sprawdzeń d_3 i d_4 mogą oznaczać niezdatność elementu e_1 , ale również i elementów e_1 i e_2 lub e_1 i e_3 lub e_2 i e_3 lub e_3 i e_4 lub e_3 , e_4 i e_5 . Natomiast w programie skróconym negatywne wyniki sprawdzeń d_3 , d_4 i d_5 mogą oznaczać niezdatność elementów e_1 i e_2 lub e_1 i e_3 lub e_2 i e_3 lub e_3 , e_4 i e_5 .

Tabela 4

Prawdopodobieństwa względne alternatywnych stanów niezdatności obiektu G_{23} dla wybranych sekwencji wyników sprawdzeń

t [h]	Program półpełny - rysunek 3					Program skrócony - rysunek 4				
	Sekwencja sprawdzeń: $-d_4, -d_3$					Sekwencja: $-d_3, -d_4, +d_5$		Sekwencja: $-d_3, -d_4, -d_5$		
	e_1	e_1, e_2	e_1, e_5 e_2, e_3	e_3, e_4	e_3, e_4, e_5	e_1	e_3, e_4	e_1, e_2	e_1, e_5 e_2, e_3	e_3, e_4, e_5
2^7	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.091	0.455	0.000
2^8	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.091	0.455	0.000
2^9	0.999	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.091	0.454	0.000
2^{10}	0.999	0.000	0.000	0.001	0.000	0.999	0.001	0.091	0.454	0.000
2^{11}	0.998	0.000	0.000	0.002	0.000	0.998	0.002	0.091	0.454	0.000
2^{12}	0.996	0.000	0.001	0.003	0.000	0.997	0.003	0.091	0.454	0.000
2^{13}	0.991	0.000	0.001	0.006	0.000	0.994	0.006	0.091	0.453	0.000
2^{14}	0.983	0.000	0.002	0.012	0.000	0.988	0.012	0.091	0.452	0.000
2^{15}	0.966	0.001	0.005	0.024	0.000	0.976	0.024	0.090	0.449	0.000
2^{16}	0.934	0.002	0.009	0.045	0.000	0.954	0.046	0.089	0.444	0.000

Względne prawdopodobieństwa alternatywnych stanów obiektu G_{23} , dla niektórych sekwencji wyników sprawdzeń, przedstawiono w tabeli 4. Zgodnie z przewidywaniami najbardziej prawdopodobnymi stanami niezdatności obiektu są stany wynikające z niezdatności tylko jednego elementu. Pewnym problemem może być rozróżnienie stanów niezdatności elementów e_1 i e_5 lub elementów e_2 i e_3 przy negatywnych wynikach sprawdzeń d_3, d_4 i d_5 w skróconym programie diagnostycznym. Skutecznym sposobem eliminacji tak wyraźnej niejednoznaczności może być jedynie wykonanie dodatkowych sprawdzeń: d_1 i d_2 .

Z analizy dwufazowego badania obiektu G_{23} wynika duża niejednoznaczność diagnoz i brak zasadności pewnych poczynań w odniesieniu do rozpoznania niezdatności. Pierwsze ze sprawdzeń obejmuje aż trzy elementy, zatem negatywny wynik sprawdzenia może być powodem wystąpienia jednego z dziewięciu rozróżnialnych stanów. W tej sytuacji, trafne wskazanie ewentualnego stanu niezdatności jest mało prawdopodobne. Dlaczego jednak nie czyni się tego podczas wystąpienia negatywnego wyniku drugiego, a zwłaszcza trzeciego w kolejności sprawdzenia? Orzeczenie tylko i wyłącznie stanu niezdatności może wydawać się w tym przypadku zwykłą rozrzutnością. Rozrzutnością jest także powtarzanie sprawdzeń rozpoznania niezdatności w programie lokalizowania niezdatności.

7. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

W pracy przedstawiono opracowania diagnostyczne obiektu o stosunkowo niewielkiej złożoności, zawierającego podstawowe elementy elektroniczne. Mniema się, iż właśnie tylko w ten sposób daje się uważnemu Czytelnikowi możliwość ewentualnej rekonstrukcji obiektu i praktycznej weryfikacji przedstawionych przemyśleń. Katastroficzne niezdatności obiektu mogą być symulowane eliminacją pracy jego poszczególnych elementów.

Rzeczywiste obiekty techniczne są bardziej skomplikowane. Do oceny wyników sprawdzeń nie zawsze wystarcza zwykła obserwacja czy pomiar napięć stałych. Pętle sprzężeń zwrotnych, elementy wielowyjściowe, modułowe konstrukcje to dzisiaj powszechność. Przy tej złożoności

niebezpiecznym jest dopuszczanie możliwości wystąpienia niejednoznacznych diagnoz - stosowanie innych poza pełnymi programami diagnostycznymi. Uznanie jakiegoś elementu za niezdatny przy niezdatności dwóch innych doprowadza do nieskutecznej i zazwyczaj kosztownej odnowy. Powtórzenie poprzedniej diagnozy pozwoli domniemywać niezdatność użytej aparatury kontrolno - pomiarowej, potem - naruszenie zasad obsługi technicznej, a w ostateczności - zdatność odnawianego elementu. Stwierdzenie tego ostatniego prowadzi w dalszej perspektywie do lokalizowania niezdatności opartego o tzw. intuicję inżynierską.

Bardzo małe prawdopodobieństwa wystąpienia stanów obiektu, wynikających z niezdatności dwóch, trzech i większej liczby elementów, do chwili obecnej nie dopuszczają myśli o uwzględnieniu tych stanów w badaniach diagnostycznych. Za całkiem wystarczające uważa się dwuetapowe badanie obiektu, w którym pierwszym etapem jest rozpoznanie niezdatności, natomiast drugim - lokalizowanie niezdatności.

Przyjęty powszechnie, dwuetapowy sposób badań diagnostycznych nie budzi wątpliwości o ile dotyczy obiektów, których struktury:

1. są spójne - tzn. że pomiędzy każdymi dwoma wierzchołkami digrafu istnieje marszruta,
2. nie umożliwiają minimalizacji zbioru sprawdzeń dostępnych [5],
3. umożliwiają dostęp pomiarowo - kontrolny do wyjścia każdego wyróżnionego jedno wyjściowego elementu.

Wieloletnie doświadczenia posłużyły opracowaniu komputerowego stanowiska analizy i syntezy diagnostycznej złożonego obiektu technicznego [1]. Wprowadzając dane, odnoszące się do intensywności uszkodzeń, liczebności i nazw elementów oraz struktury ich połączeń, uzyskuje się w miarę kompleksowy, matematyczny opis obiektu. Wnikliwe poznanie jego właściwości służy opracowaniu maszynowego pełnego programu diagnostycznego. Stanowisko może pracować bez udziału człowieka, w sposób w pełni automatyczny, bądź też w sposób półautomatyczny, w charakterze „suflera” procesu diagnostycznego [4].

LITERATURA

- [1] Fedyna K. Szczepański P.: *Stanowisko komputerowej analizy i syntezy diagnostycznej złożonego obiektu technicznego*; Materiały VII Krajowego Sympozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych - Diagnostyka, Porąbka - Kozubnik 1993.
- [2] Korzan B.: *Elementy teorii grafów i sieci*; WNT, Warszawa 1978.
- [3] Szczepański P.: *Liczebność zbioru rozróżnialnych stanów obiektu*; Materiały Kongresu Diagnostyki Technicznej KDT '96, Gdańsk, wrzesień 1996, tom III str. 243÷249.
- [4] Szczepański P.: *Sufler procesu diagnozowania złożonego obiektu technicznego*; Materiały IV Konferencji Naukowej nt.: Sterowanie i regulacja w radiolokacji i obiektach latających, Biuletyn WSOWR, Jelenia Góra, 1993.
- [5] Szczepański P.: *Ocena skutków minimalizacji zbioru sprawdzeń dostępnych*; Materiały VIII Konferencji Naukowej nt.: Sterowanie i regulacja w radiolokacji i obiektach latających, Biuletyn WOSR, Jelenia Góra, 1997.