

Struktury samodiagnozowalne w systemach cyfrowych¹

Roman KULESZA

Zakład Automatyki, Instytut Teleinformatyki i Automatyki,
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

STRESZCZENIE: Przedstawiono zasadnicze własności struktur samodiagnozowalnych, bazujących na rozproszonej oraz na scentralizowanej metodzie wnioskowania z wyników testowań poszczególnych elementów systemu (w tym korzystających z modeli PMC oraz BGM). Przedstawiono (w odniesieniu do struktur bazujących na scentralizowanej metodzie wnioskowania) problemy występujące przy wyznaczeniu optymalnych oraz najtańszych struktur o wymaganych własnościach diagnostycznych.

1. Wprowadzenie

Duży stopień jednorodności produktów wejściowych i wyjściowych poszczególnych elementów systemów cyfrowych (w tym komputerów i sieci komputerowych) sprzyja stosowaniu (w tych systemach) metod diagnozowania, wykorzystujących wyniki wzajemnego testowania się elementów systemu.

Mówiąc *struktura samodiagnozowalna*, będziemy mieć na myśli, zarówno strukturę wzajemnego testowania się elementów systemu, opisaną przez odpowiedni graf (*graf testowania*), *metodę* posługiwania się wynikami poszczególnych testowań, jak i *model wnioskowania* (o stanie niezawodnościowym systemu) na podstawie wyników tych testowań. Grafem testowania $G(G = \langle E, U \rangle)$, jest (w przypadku ogólnym) unigraf bez pętli, którego gałęzie są łukami albo krawędziami, przy czym krawędź

¹ Referat wygłoszony na V Krajowej Konferencji Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów DIAG'2003, Ustroń 13-17.10.2003. Druk tekstu referatu za zgodą Komitetu Organizacyjnego konferencji.

(e', e'') oznacza, że zarówno element e' może testować element e'' jak i odwrotnie. Z uwagi na metodę (posługiwania się wynikami testowań), struktury samodiagnozowalne podzielimy na *struktury dialogu diagnostycznego* (struktury DD) oraz na *struktury opiniowania diagnostycznego* (struktury OD). W strukturach DD, wnioskowanie, o stanie niezawodnościowym systemu, odbywa się na podstawie wyników części wszystkich możliwych testowań, a w strukturach OD – przeciwnie. Stąd też, metody stosowane w strukturach DD oraz w strukturach OD nazywa się (odpowiednio) – *metodami rozproszonymi* oraz *metodami scentralizowanymi*. W strukturach DD wyróżnia się *struktury heterogeniczne* (struktury HeDD), w których graf testowania nie jest grafem zwykłym i linie transmisji danych nie są niezawodne oraz *struktury homogeniczne* (struktury HoDD), w których przeciwnie – graf testowania jest grafem zwykłym i linie transmisji danych są niezawodne. Wreszcie, model wnioskowania określa jak wynik testowania zależy od stanu niezawodnościowego elementu testującego, elementu testowanego oraz linii transmisji danych między nimi. W strukturach OD, wyróżnia się model PMC (Preparata F.P.; Metze G.; Chien R.T.) oraz model BGM (Barsi F.; Grandoni F.; Maestrini P.). Nieco inną klasyfikację struktur samodiagnozowalnych, można znaleźć w pracy [5].

Mówiąc *m-diagnozowalna struktura*, mamy na myśli taką strukturę, która zapewnia zidentyfikowanie wszystkich niezdatnych elementów systemu pod warunkiem, że nie jest ich więcej niż m . Taką strukturę częściową struktury pełnej (opisanej przez pełny graf testowania), która jest strukturą m -diagnozowalną o minimalnej liczbie użytych testowań, nazywa się strukturą *m-optymalną* rzędu $\|E\|$. Mówimy, że strukturą *m-diagnozowalną* jest strukturą *nieredukowalną*, jeżeli żadna z jej struktur częściowych nie jest strukturą m -diagnozowalną, a nieredukowalną strukturą m -diagnozowalną, która nie jest strukturą m -optymalną, nazywamy strukturą *m-quasi-optymalną*.

Czasami, przy projektowaniu struktury samodiagnozowalej, koniecznym jest uwzględnianie, że uogólnione koszty wzajemnego testowania się elementów systemu, nie mogą być uważane za jednakowe. Jeżeli więc, przez $K(\langle e', e'' \rangle)$ ($0 < K(u) < \infty, u \in U$) oznaczmy uogólniony koszt testowania elementu e'' przez element e' , to graf opisany $G^* = \langle G; \{K(u): u \in U\} \rangle$ możemy nazwać *ekonomicznym grafem testowania*, a wartość $K(G^*) = \sum_{u \in U} K(u)$ – uogólnionym kosztem tego grafu. Graf częściowy G' grafu

G^* , który jest takim m -diagnozowalnym grafem, że koszt $K(G')$ przyjmuje wartość minimalną, nazywamy najtańszym (względem G^*) grafem m -diagnozowalnym. Formalnie, najtańszy graf może być grafem o wielu składowych spójności, ale głównie poszukuje się metod wyznaczania spójnych,

najtańszych grafów m -diagnozowalnych. Wyznaczanie struktury najtańszej jest z reguły (poza strukturą 1-diagnozowalną), zadaniem trudnym. Znajomość szeregów tworzących odpowiednich struktur, pozwala zorientować się, jaka jest liczebność zbioru struktur, wśród których poszukiwana jest struktura najtańsza. W wielu zastosowaniach, wystarczającym jest wyznaczenie struktury quasi-najtańszej (której uogólniony koszt jest "bliższy" kosztowi struktury najtańszej).

Najtańsza struktura m -diagnozowalna jest, w większości przypadków, strukturą m -optymalną. Nie musi jednak tak być w przypadku najtańszej struktury 1-diagnozowalnej, bowiem może ona być strukturą 1-quasi-optymalną.

2. Struktury dialogu diagnostycznego

2.1. Heterogeniczne struktury dialogu diagnostycznego

Mówimy, że element e' dokonał dialogu diagnostycznego z elementem e'' , jeżeli przesłał do elementu e'' określone wymuszenie (zadanie funkcjonalne) $w(e')$, otrzymał od elementu e'' odpowiedź [reakcję] $r(e'', w(e'))$ na to wymuszenie oraz sam wykonał zadanie funkcjonalne $w(e')$ i porównał własną reakcję $r(e'', w(e'))$, na wymuszenie $w(e')$, z reakcją $r(e', w(e'))$. Dalej, nie będziemy rozróżniać wymuszeń stosowanych przez poszczególne elementy systemu. Tak, więc zamiast $r(e'', w(e'))$ będziemy pisać $r(e', e'')$, a zdarzenie $r(e'', w(e')) = r(e', w(e'))$ - zapisywać w postaci $r(e', e'') = r_0$.

Niech $n(e)$ oraz $n((e', e''))$ oznaczają stan niezawodnościowy (odpowiednio) elementu e oraz linii transmisji danych między elementami e' i e'' , a zapisy $n(e)=0$ oraz $n(e)=1$ i $n((e', e''))=0$ oraz $n((e', e''))=1$ - odpowiednio, że element e jest zdalny oraz niezdalny i linia (e', e'') jest zdalna oraz niezdalna.

Niech $s(e)$ oraz $s((e', e''))$ oznaczają (odpowiednio) status elementu e oraz linii (e', e'') , to jest stan niezawodnościowy rozpoznany na podstawie rezultatów pewnego zbioru dialogów diagnostycznych.

Jeżeli można przyjąć założenia, że:

$$P(r(e', e'') = r_0 \mid (n(e')=1) \vee (n(e'')=1) \vee (n((e', e''))=1)) = 0;$$

$$P(r(e', e'') \neq r_0 \mid (n(e')=0) \wedge (n(e'')=0) \wedge (n((e', e''))=0)) = 0,$$

to reguły wnioskowania są następujące:

$$[r(e', e'') = r_0] \Rightarrow [(s(e') = 0) \wedge (s(e'') = 0) \wedge (s((e', e'')) = 0)]; \quad (1)$$

$$[r(e', e'') \neq r_0] \Rightarrow [(n(e') = 1) \vee (n(e'') = 1) \vee (n((e', e'')) = 1)]; \quad (2)$$

$$[(s(e') = 0) \wedge (r(e', e'') = r_0)] \Rightarrow [s(e'') = 0]; \quad (3)$$

$$[(s(e') = 0) \wedge (r(e', e'') \neq r_0)] \Rightarrow [(n(e'') = 1) \vee (n((e', e'')) = 1)]; \quad (4)$$

$$[(s(e') = s(e'') = 0) \wedge (r(e', e'') \neq r_0)] \Rightarrow [s((e', e'')) = 1]. \quad (5)$$

Rozpatrzymy (dla przykładu) następującą procedurę dialogu diagnostycznego. Element (e') inicjuje procedurę i kończy ją, gdy od wszystkich elementów, z którymi dokonuje dialogu (od elementów zbioru $\Gamma(e')$, który oznaczamy również: TESTED-BY(e')), otrzyma odpowiedź poprawną. W tym przypadku status wszystkich elementów i linii (uczestniczących w dialogach) jest równy 0. W przypadku przeciwnym element (e') zleca każdemu elementowi e'' ($e'' \in \Gamma(e')$) takim, że $r(e', e'') \neq r_0$, dokonanie dialogu z każdym elementem e''' ($e''' \in \Gamma(e'') \setminus e'$), w celu ustalenia statusu elementu e'' . Jeżeli status elementu e'' nie zostanie określony, to element e'' zleca elementowi e^* ze zbioru $\Gamma^{-1}(e') \setminus e''$, ($\Gamma^{-1}(e'')$ - zbiór elementów testujących element e''), który oznaczamy również: TESTERS-OF(e''), dokonania dialogu z elementem e'' w celu ustalenia jego statusu, po czym następuje przerwanie procedury. Po każdym dialogu dokonany przez element e , określany jest zbiór STATUS-BY(e) - zbiór elementów i linii o określonym statusie oraz zbiór INVAL-BY(e) - zbiór elementów i linii, które (w wyniku tego dialogu) są podejrzane o to, że są niezdatne, a po zakończeniu procedury - określane są ostateczne zbiory: STATUS=1 oraz INVAL.

Dla przykładu, przebieg opisanej procedury, zastosowanej do struktury przedstawionej na rys.1, w przypadku, gdy elementem inicjującym jest element e_3 , jest następujący:

$$\text{TESTED-BY}(3) = \{1, 4, 5\}$$

$$\text{STATUS-BY}(3): s(1) = s(3) = s(5) = s((1, 3)) = s((3, 5)) = 0$$

$$\text{INVAL-BY}(3): (3, 4) \vee 4$$

$$\text{TESTED-BY}(4): 2$$

$$\text{STATUS-BY}(4): \emptyset$$

$$\text{INVAL-BY}(4): 2 \vee 4 \vee (2, 4)$$

$$\text{TESTERS-OF}(4) = \{2, 6\}$$

$$\text{STATUS-BY}(2): \emptyset$$

$$\text{INVAL-BY}(2): (2, 4) \vee 4 \vee 2$$

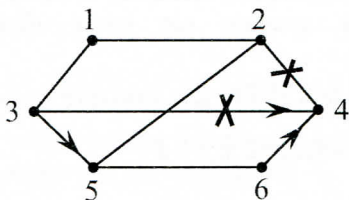
$$\text{STATUS-BY}(6): s(4) = s(6) = s((4, 6)) = 0$$

INVAL-BY(6): \emptyset
 STATUS = 1: (3,4)
 INVAL: (2,4) \vee 2.

Jeżeli elementem inicjującym procedurę będzie element e_2 , to produktem procedury będzie:

STATUS = 1: (2, 4);

INVAL: (3) \vee (3,4).



Rys. 1. Przykład heterogenicznej struktury dialogu diagnostycznego (X – niezdatna linia transmisji danych)

2.2. Homogeniczne struktury dialogu diagnostycznego

Niech $E^0(n)$ oraz $E^1(n)$ oznaczają (odpowiednio) zbiory zdalnych oraz niezdatnych elementów systemu w stanie niezawadnościowym n systemu.

Dla struktury HoDD, zamiast zależności (1)-(5), otrzymujemy:

$$[e' \in E^0(n')] \Rightarrow [(s(e' | n') = 0) \Leftrightarrow (\exists e'' \in E(e') : e'' \in E^0(n'))]; \quad (6)$$

$$[(e' \in E^1(n') \wedge (\exists e'' \in E(e') : s(e'' | n') = 0))] \Rightarrow [s(e' | n') = 1], \quad (7)$$

a więc:

$$[e' \in E^1(n')] \Rightarrow [(s(e' | n') = 1) \Leftrightarrow (\exists e'' \in E(e') : (e'' \in E^0(n') \wedge (E(e'') \cap E^0(n') \neq \emptyset)))] \quad (8)$$

gdzie: $E(e')$ ($e' \in E$) oznacza zbiór węzłów przyległych do węzła e' ($e' \notin E(e')$).

Tak więc o tym, czy może być określony status elementu e' (czy też nie), przesądza stan niezawodnościowy elementów zbioru $E^2(e')$ ($E^2(e')$ - zbiór elementów osiągalnych z elementu e' za pomocą łańcuchów o długości równej dwa). Zależność (8) można więc przedstawić w postaci:

$$[e \in E^1(n)] \Rightarrow [(s(e|n) = 1) \Leftrightarrow (\exists(e', e'') \in U (<E^2(e) > G) : (\{e', e''\} \subseteq E^0(n)) \wedge (\{e', e''\} \cap E(e) \neq \emptyset))], \quad (9)$$

która jest podstawą do opracowania algorytmów rozstrzygających czy badana struktura HoDD jest (czy też nie) strukturą m -diagnozowalną [8], przy czym zauważmy, że dla m -diagnozowalnej struktury HoDD, może istnieć sytuacja w której zdalny element systemu nie może określić swojego stanu niezawodnościowego.

Oczywiście, jeżeli struktura HoDD jest strukturą m -diagnozowalną, to:

$$(\|E\| \geq m+2) \wedge (\mu(e) \geq m, e \in E) \quad (10)$$

oraz:

$$[\forall(e', e'') \in U : \mu(e') = \mu(e'') = m] : \|E(e') \cap E(e'')\| \leq m-2, \quad (11)$$

gdzie $\mu(e')$ oznacza stopień wężła e' (to jest liczbę gałęzi incydentnych z wężłem e').

3. Struktury opiniowania diagnostycznego

3.1. Własności struktur OD dla modeli PMC i BGM

Niech $d_{st} = 0$ oraz $d_{st} = 1$ oznacza, że element e_s , w wyniku testowania kontrolnego elementu e_t , opiniuje (ocenia) element e_t jako zdalny oraz jako niezdalny, a $n(e')$ oraz $n_0(e')$ oznacza (odpowiednio) stan niezawodnościowy oraz stan zdalności elementu e' .

Dla modelu PMC przyjmuje się, że:

$$[n(e_s) = n_0(e_s)] \Rightarrow \left[d_{st} = \begin{cases} 0 & \text{dla } n(e_t) = n_0(e_t) \\ 1 & \text{dla } n(e_t) \neq n_0(e_t) \end{cases} \right] \quad (12)$$

oraz:

$$[n(e_s) \neq n_0(e_s)] \Rightarrow [d_{st} = x], (x \in \{0,1\}), \quad (13)$$

a dla modelu BGM przyjmuje się, że obowiązuje zależność (12) oraz:

$$[n(e_s) \neq n_0(e_s)] \Rightarrow \left[d_{st} = \begin{cases} x & \text{dla } n(e_t) = n_0(e_t) \\ 1 & \text{dla } n(e_t) \neq n_0(e_t) \end{cases} \right]. \quad (14)$$

Z zależności (12)-(14) wynika bezpośrednio, że struktura OD (zarówno dla modelu PMC, jak i dla modelu BGM) jest strukturą m -diagnozowalną wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$\begin{aligned} & \forall n', n'' \in N^m \exists \langle e_s, e_t \rangle \in U : \\ & : (d_{st}(n') \neq x) \wedge (d_{st}(n'') \neq x) \wedge (d_{st}(n') \neq d_{st}(n'')) \end{aligned} \quad (15)$$

gdzie N^m oznacza zbiór takich stanów niezawodnościowych systemu, w których liczba niezdatnych elementów nie jest większa niż m .

Tak więc, struktura OD jest strukturą 1-diagnozowalną dla modelu BGM wtedy i tylko wtedy, gdy jest strukturą 1-diagnozowalną dla modelu PMC, natomiast jeżeli $m > 1$, to struktura m -diagnozowalna dla modelu BGM nie musi być strukturą m -diagnozowalną dla modelu PMC.

Oznaczmy:

$$E^0(n', n'') = \{e \in E : [n(e|n') = n_0(e)] \wedge [n(e|n'') = n_0(e)]\};$$

$$E^1(n', n'') = \{e \in E : [n(e|n') \neq n_0(e)] \wedge [n(e|n'') \neq n_0(e)]\};$$

$$\tilde{E}(n', n'') = \{e \in E : [n(e|n') = n_0(e)] \Rightarrow [n(e|n'') \neq n_0(e)]\},$$

przy czym $n(e|n^*)$ oznacza stan niezawodnościowy elementu e , w przypadku gdy system znajduje się w stanie niezawodnościowym n^* ($n^* \in N^m$).

Z zależności (12)-(15) wynika, że struktura OD jest strukturą m -diagnozowalną dla modelu PMC, wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$\forall n', n'' \in N^m \exists e' \in E^0(n', n'') : \Gamma(e') \cap \tilde{E}(n', n'') \neq \emptyset \quad (16)$$

oraz że jest strukturą m -diagnozowalną ($m \geq 2$) dla modelu BGM, wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$\forall n', n'' \in N^m [(\exists e' \in E^0(n', n'') : \Gamma(e') \cap \tilde{E}(n', n'') \neq \emptyset) \vee \vee (\exists \langle e'', e''' \rangle \in U : (\{e'', e'''\} \subset E^\alpha(n') \Rightarrow (\{e'', e'''\} \subset E^{\bar{\alpha}}(n''))))] \quad (17)$$

gdzie:

$$E^\alpha(n^*) = \{e \in E : n(e | n^*) = \alpha, \alpha \in \{0, 1\}\}.$$

Wiadomo, co zresztą łatwo zauważyć z zależności (16) i (17), że jeżeli struktura OD jest strukturą m -diagnozowalną dla modelu PMC, to:

$$(\|E\| \geq 2 \cdot m + 1) \wedge (\mu^-(e) \geq m, e \in E) \quad (18)$$

oraz że jeżeli jest strukturą m -diagnozowalną dla modelu BGM, to

$$(\|E\| \geq m + 2) \wedge (\mu^-(e) \geq m, e \in E), \quad (19)$$

gdzie $\mu^-(e)$ oznacza stopień wejściowy węzła e w grafie OD, a więc liczbę elementów systemu, które opiniują element e .

Struktura OD jest strukturą m -diagnozowalną dla modelu PMC [3], wtedy i tylko wtedy, gdy

$$(\forall 0 \leq p \leq m-1 \forall E' \subset E : \|E'\| = \|E\| - 2 \cdot m + p : \|\Gamma(E')\| > p) \quad (20)$$

oraz jeżeli $\|\{e \in E : \mu^-(e) = m\}\| \geq 2$, to jest strukturą m -diagnozowalną ($m \geq 2$) dla modelu BGM [1] wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$(\forall e', e'' \in E : \mu^-(e') = \mu^-(e'') = m) ((\exists e^* \in \Gamma^{-1}(e') : (e^* \notin \Gamma^{-1}(e'')) \wedge (\Gamma^{-1}(e^*) \neq \Gamma^{-1}(e'')))). \quad (21)$$

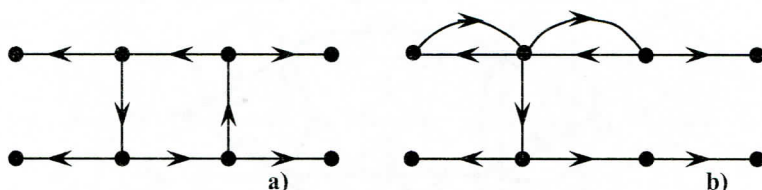
3.2. Wyznaczanie optymalnych oraz najtańszych struktur OD

Spójna, optymalna struktura OD (zarówno dla modelu PMC, jak i dla modelu BGM) ma dokładnie jedną składową silnej spójności. Można również wykazać, że jeżeli podgraf $\langle E \setminus \{e'\} \rangle_G$ spójnego grafu G , jest m -diagnozowalnym grafem OD (dla modelu PMC albo dla modelu BGM) oraz $\|\Gamma^{-1}(e')\| \geq m$, to graf G również jest m -diagnozowalnym grafem OD (odpowiednio-dla modelu PMC albo dla modelu BGM).

Powyższe własności są podstawą do konstruowania metod wyznaczania struktur optymalnych określonego rzędu oraz struktur najtańszych (względem

określonej struktury) w klasie struktur optymalnych. Oczywiście, znajomość cech silnie spójnych struktur optymalnych określonego rzędu, ma istotne znaczenie dla wspomnianych metod.

Wiadomo [11], że składową silnej spójności, spójnej 1-diagnozowalnej struktury OD, jest albo cykl zorientowany rzędu co najmniej trzeciego albo para incydentnych cykli elementarnych (rys.2).



Rys. 2. Przykłady 1-diagnozowalnych struktur OD rzędu ósmego
(a-spójna struktura 1-optymalna; b-spójna struktura 1-quasi-optymalna)

Wiadomo [9],[11], że szeregi tworzące 1-optymalnych oraz 1-quasi-optymalnych struktur OD (dla pierwszych dziesięciu wyrazów) mają (odpowiednio) postać:

$$S(x) = x^3 + 2x^4 + 5x^5 + 15x^6 + 40x^7 + 118x^8 + 341x^9 + 970x^{10} + \dots \quad (22)$$

$$S^*(x) = x^3 + 2x^4 + 6x^5 + 15x^6 + 41x^7 + 106x^8 + 284x^9 + 750x^{10} + \dots \quad (23)$$

Metody wyznaczania najtańszej struktury 1-diagnozowalnej, przedstawione są w pracach [10],[11].

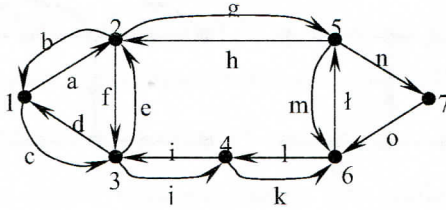
Dla przykładu, względem struktury przedstawionej na rysunku 3, istnieją dwie 1-diagnozowalne struktury najtańsze (rys.4), przy czym są one strukturami 1-optymalnymi.

Wiadomo [6],[8], że dla modelu PMC istnieje 26 struktur 2-optymalnych rzędu piątego (rys.6). Poznanie takich cech struktur (tego zbioru) jak liczba i spójność (ze sobą) cykli elementarnych oraz multizbioru stopni wyjściowych (poszczególnych węzłów) pozwala sprowadzić poszukiwanie struktury 2-optymalnej, do rozwiązania częściowo określonego kwadratu łacińskiego [7],[8].

Dla przykładu, na rysunku 5b przedstawiono strukturę 2- optymalną względem struktury przedstawionej na rysunku 5a.

Tab. 1. Uogólnione koszty testowania

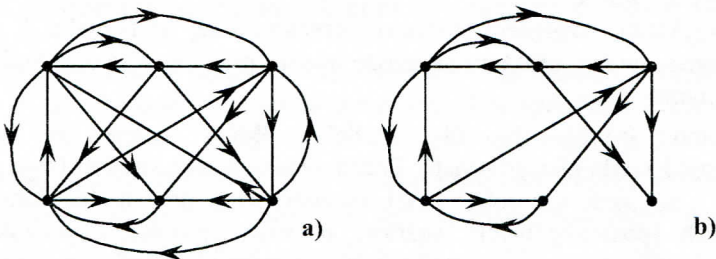
U	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	ł	M	n	o
K(u)	5	4	1	2	3	2	3	2	2	5	3	3	5	4	4	4



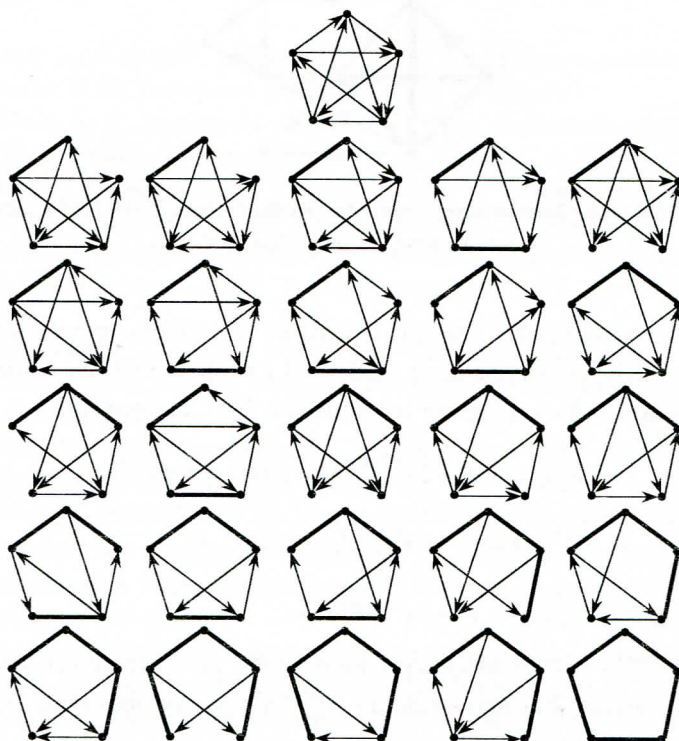
Rys. 3. Przykład ekonomicznego grafu opiniowania diagnostycznego



Rys. 4. Najtańsze (względem struktury przedstawionej na rys.3) struktury1-diagnozowalne (dla modelu PMC)

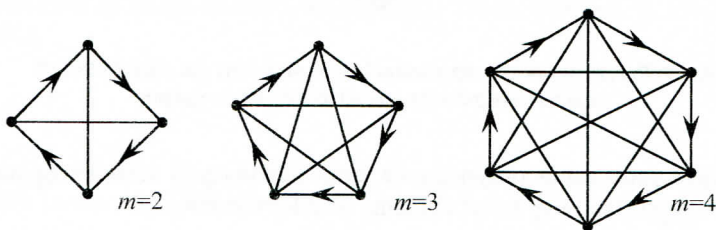


Rys. 5. Struktura 2- optymalna (b) względem struktury (a) (dla modelu PMC)

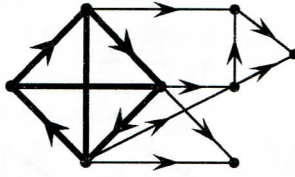


Rys. 6. Struktury 2- optymalne (dla modelu PMC) rzędu piątego

Niech G_m^{m+2} oznacza m -optymalną strukturę OD dla modelu BGM, rzędu $m + 2$. Na rysunku 7 przedstawione są struktury G_m^{m+2} ($2 \leq m \leq 4$).



Rys. 7. Struktury (OD dla modelu BGM) m -optymalne G_m^{m+2}



Rys. 8. Przykład takiej 2- optymalnej struktury (OD dla modelu BGM) rzędu ósmego, której składową silnej spójności jest struktura G_2^4

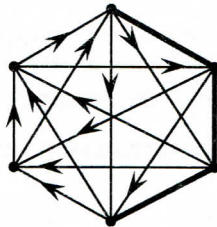
Można wykazać, że szeregi tworzące $S_m^B(x)$ (dla pierwszych ośmiu członów), takich m -optymalnych ($2 \leq m \leq 4$) struktur OD dla modelu BGM, których składową silnej spójności jest struktura G_m^{m+2} , mają postać:

$$S_2^B(x) = x^4 + 2x^5 + 13x^6 + 104x^7 + 1062x^8 + \dots \quad (22)$$

$$S_3^B(x) = x^5 + 2x^6 + 31x^7 + 729x^8 + \dots \quad (23)$$

$$S_4^B(x) = x^6 + 3x^7 + 72x^8 + \dots \quad (24)$$

Szeregi (22) - (24) określają kres dolny liczby m -optymalnych struktur (OD dla modelu BGM), bowiem struktury G_m^{m+2} nie są ich jedynymi składowymi silnej spójności (rys.9).



Rys.9. Przykład takiej 3- optymalnej struktury (OD dla modelu BGM) rzędu szóstego, która jest strukturą silnie spójną

Metody wyznaczania optymalnych oraz najtańszych struktur opiniowania diagnostycznego stanowią wciąż aktualny problem badawczy.

Literatura

- [1] Barsi F., Grandoni F., Maestrini P.: *A Theory of Diagnosability of Digital Systems*, IEEE Trans. on Comput. 6, 1976, pp. 585-593.
- [2] Dahbura A. T., Masson G. M., CH. L. Yang: *Self-Implicating Structures for Diagnosable Systems*, IEEE Trans. on Comput., 8, 1985, pp. 718-723.
- [3] Hakimi S. L., Amin A. T.: *Characterization of Connection Assignment of Diagnosable Systems*, IEEE Trans. on Comput. 1, 1974, pp. 86-88.
- [4] Hosseini S. H., Kuhl J. G., Reddy S. M.: *On Self-fault diagnosis of the distributed systems*. IEEE Trans, Comput., vol. 37, pp. 248-251, Feb. 1988.
- [5] Krawczyk H.: *Analiza i synteza samodiagnozowalnych systemów komputerowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Elektronika nr 64, Gdańsk, 1987.
- [6] Kulesza R.: *Niektóre własności grafów opiniowania diagnostycznego*, Krajowy Kongres Metrologii, Gdańsk'98, 1998, tom 5, s. 81-88.
- [7] Kulesza R., Wach A. K.: *The Determination of a 2-optimal Digraphs Set for a One-Step Diagnosis of System*, 9th IMECO TC-10, International Conference on Technical Diagnostics, 22-24 September 1999, Wrocław, Poland, pp. 153-158.
- [8] Kulesza R.: *Podstawy diagnostyki sieci logicznych i komputerowych*, Instytut Automatyki i Robotyki, WAT, Warszawa, 2000, ss. 222.
- [9] Kulesza R.: *Metoda przeliczania 1-optymalnych struktur opiniowania diagnostycznego*, Biuletyn Instytutu Automatyki i Robotyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2001, nr.16, s.19-34.
- [10] Kulesza R.: *Metody wyznaczania najtańszych 1-diagnozowalnych struktur opiniowania diagnostycznego*, Biuletyn Instytutu Automatyki i Robotyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2002, nr.17, s.3-24.
- [11] Kulesza R.: *Niektóre własności 1-diagnozowalnych struktur typu PMC*, Biuletyn Instytutu Automatyki i Robotyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2003, nr 18 s 3-18.
- [12] Preparata F. P., Metzger G., Chien R. T.: *On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems*, IEEE Trans. Comput. 6, 1967, pp. 848-854.

Referat wygłoszony na V Krajowej Konferencji Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów DIAG'2003, Ustroń 13 – 17.10.2003r.

Pracę wpłynęła do redakcji:20.10.2003r.