

Diagnozowanie sieci komputerowej metodą dialogu diagnostycznego *

Metoda dialogu diagnostycznego między komputerami sieci komputerowej, zalicza się do, tak zwanych, rozproszonych metod samodiagnozowania się sieci komputerowej, to jest takich metod w których dowolny komputer sieci komputerowej (bez założenia, że jest zdalny) inicjuje proces testowania się komputerów w pewnym podzbiore komputerów sieci i na podstawie wyników tych testowań, wnioskuje o stanach niezawodnościowych komputerów i linii transmisji danych, uczestniczących w procesie testowania (w tym również – o własnym stanie niezawodnościowym).

Cechą charakterystyczną, omawianej metody, jest to, że zakłada ona możliwość zlecenia, przez komputer inicjujący proces testowania, określonemu komputerowi, który jest testowany przez komputer inicjujący, przetestowanie określonego komputera (o ile jest to możliwe) i powiadomienia komputera inicjującego o wyniku tego testowania.

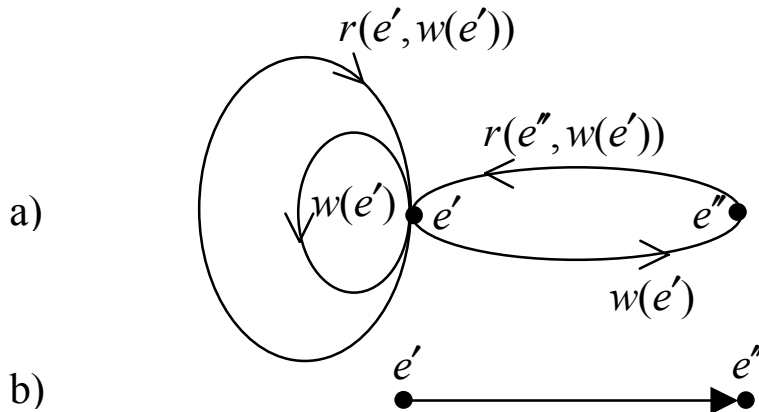
Z pewnym uproszczeniem, można powiedzieć, że komputer inicjujący proces testowania, ma głównie na celu uzyskanie diagnozy orzekającej, iż znajduje się on w stanie zdalności. Zauważmy, że osiągnięcie tego celu nie zawsze jest możliwe oraz, że jest to cel przeciwstawny celowi jaki jest stawiany gdy komputer ten traktowany jest jako tester (jako, tak zwane niezawodne jądro systemu). Zauważmy, że każdy komputer sieci, który w wyniku dialogu diagnostycznego między komputerami pewnego podzbioru komputerów sieci, zostanie zdiagnozowany jako komputer zdalny, może pełnić dalej (w procesie diagnozowania sieci) rolę niezawodnego jądra, względem komputerów z poza tego podzbioru.

* Materiał wykładu opracowany na podstawie książki Prof. R. Kuleszy pt.: „Diagnostyka sieci logicznych i komputerowych”.

Możliwość przeprowadzenia dialogu diagnostycznego, między dwoma komputerami sieci zakłada, iż niezdatność zarówno tych komputerów jak i (dwukierunkowych) linii transmisji danych (między tymi komputerami) polega jedynie na wadliwym wykonaniu zleconych im zadań funkcjonalnych, a nie na braku możliwości podjęcia się wykonania takich zadań. Niezdatność tego typu nazywa się niezdatnością bizantyjską. Szczególnym przypadkiem niezdatności tego typu jest przekłamanie [rekuza, niezdatność chwilowa], ale może ona mieć również charakter niezdatności trwałej (niezdatności powtarzającej się).

Praktycznie stosowane wymuszania (funkcjonalne zadania kontrolne) nie są kompletnymi testami kontrolnymi względem zbioru możliwych stanów niezdatności, wobec czego diagnoza może być obarczona błędem. Tak więc, z reguły decyzje o zmianie struktury funkcjonalnej sieci komputerowej (decyzje o wyeliminowaniu z sieci niektórych komputerów lub(i) o rekonfiguracji sieci transmisji danych) są podejmowane w oparciu o analizę, pewnej liczby wyników diagnoz lokalnych (w tym sprzecznych) inicjowanych, przez różne komputery i jeśli zachodzi potrzeba – po celowym zastosowaniu określonych wymuszeń o zwiększonej skuteczności kontrolnej. W powyższym sensie, metoda dialogu diagnostycznego ma cechy metody scentralizowanej.

Mówimy, że komputer e' dokonał dialogu diagnostycznego z komputerem e'' , jeżeli przesłał do komputera e'' określone wymuszenie (zadanie funkcjonalne) $w(e')$, otrzymał od komputera e'' odpowiedź [reakcję] $r(e'', w(e'))$ na to wymuszenie oraz sam wykonał zadanie funkcjonalne $w(e')$ i zaobserwował własną reakcję $r(e', w(e'))$ na wymuszenie $w(e')$, (rys. 1a).



Rys. 1 Ilustracja dokonania przez komputer e' dialogu diagnostycznego z komputerem e'' , (a) oraz graf ilustrujący możliwość takiego dialogu (b)

Zauważmy, że warunkiem koniecznym dokonania dialogu diagnostycznego komputera e' z komputerem e'' jest, aby $w(e') \in W(X(e')) \cap W(X(e''))$, ($X(e^*)$ - zbiór produktów wejściowych [elementarnych zadań funkcjonalnych] komputera e^*).

Jeżeli komputer e' ma możliwość dokonania dialogu diagnostycznego z komputerem e'' , to przedstawimy to w postaci łuku łączącego węzeł e' z węzłem e'' , (rys. 1b). Połączenie węzłów e' i e'' krawędzią będzie oznaczać, że zarówno komputer e' ma możliwość dokonania dialogu diagnostycznego z komputerem e'' jak i odwrotnie, chociaż wymuszenie $w(e'')$ może być inne niż wymuszenie $w(e')$.

Jeżeli dla każdego, komputera e^* sieci komputerowej: $X(e^*) = X$, to mówimy, że sieć komputerowa jest siecią homogeniczną, a w przeciwnym razie – że jest siecią heterogeniczną.

Zauważmy, że w homogenicznej sieci komputerowej, z reguły, o ile jest możliwy dialog diagnostyczny komputera e' z komputerem e'' , to również jest możliwy dialog diagnostyczny komputera e'' z komputerem e' .

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

Uznanie niezdalnego elementu e'' za element zdalny, obarczone jest błędem testu kontrolnego, zależnym od skuteczności $\eta(w(e'))$ kontrolnej testu $w(e')$ i od wartości prawdopodobieństwa $P(n(e'') = 0)$,

Określenie 1. Błędem $\gamma(e'', w(e'))$ dialogu diagnostycznego komputera e' z komputerem e'' , dokonanego za pomocą wymuszenia $w(e')$, nazywamy prawdopodobieństwo a posteriori zdarzenia $[n(e') = 1] \vee [n(e'') = 1] \vee [n((e', e'')) = 1]$ po nastąpieniu zdarzenia $r(e'', w(e')) = r(e', w(e'))$, to jest:

$$\gamma(e'', w(e')) = P([n(e') = 1] \vee [n(e'') = 1] \vee [n((e', e'')) = 1] | r(e'', w(e')) = r(e', w(e'))).$$

Zauważmy, że jeżeli $n((e', e'')) = 0$, to metoda dialogu diagnostycznego jest równoważna, tak zwanej, metodzie porównawczej.

Zamiast $r(e'', w(e'))$ będziemy pisać $r(e', e'')$, a zdarzenie $r(e'', w(e')) = r(e', w(e'))$ zapisywać w postaci $r(e', e'') = r_0$.

Przyjmijmy następujące założenia:

$$P(r(e', e'') = r_0 | (n(e') = 1) \vee (n(e'') = 1) \vee (n((e', e'')) = 1)) = 0, \quad (1)$$

$$P(r(e', e'') \neq r_0 | (n(e') = 0) \wedge (n(e'') = 0) \wedge (n((e', e'')) = 1)) = 0. \quad (2)$$

Z powyższych założeń wynika, że:

$$[r(e', e'') = r_0] \rightarrow [r(e'', e') = r_0] \text{ i } [r(e', e'') \neq r_0] \rightarrow \rightarrow [r(e'', e') \neq r_0].$$

Niech $s(e)$ oraz $s((e', e''))$ oznaczają *status* – odpowiednio, komputera e oraz linii (e', e'') to jest stan niezawodnościowy, jednoznacznie rozpoznany na podstawie rezultatów pewnego zbioru, dialogów diagnostycznych (między komputerami sieci).

Z założeń (1) i (2) wynikają bezpośrednio, następujące **reguły wnioskowania diagnostycznego**:

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

$$[r(e', e'') \neq r_0] \rightarrow [(n(e') = 1) \vee (n(e'') = 1) \vee (n((e', e'')) = 1)]; \quad (4)$$

$$[(s(e') = 0) \wedge (r(e', e'') = r_0)] \rightarrow [s(e'') = 0]; \quad (5)$$

$$[(s(e') = 0) \wedge (r(e', e'') \neq r_0)] \rightarrow [(n(e'') = 1) \vee (n((e', e'')) = 1)]; \quad (6)$$

$$[(s(e') = s(e'') = 0) \wedge (r(e', e'') \neq r_0)] \rightarrow [s((e', e'')) = 1]. \quad (7)$$

Oznaczenia:

G_s - graf sieci komputerowej opisujący jej strukturę logiczną (z reguły - graf zwykły);

G - graf opisujący możliwe dialogi diagnostyczne między komputerami sieci ($G = \langle E, U \rangle$) nazywany **grafem dialogów diagnostycznych sieci komputerowej**;

n - stan niezawodnościowy sieci, ($n \in N$)

$n : \langle E^1(n); U^1(n) \rangle$;

N - zbiór dopuszczalnych (branych pod uwagę) stanów niezawodnościowych sieci;

$E^1(n)$ - zbiór niezdatnych komputerów sieci w stanie n , ($E^1(n) \subseteq E$);

$E^0(n)$ - zbiór zdatnych komputerów sieci w stanie n , ($E^0(n) = E \setminus E^1(n)$);

$U^1(n)$ - zbiór niezdatnych linii sieci w stanie n , ($U^1(n) \subseteq U$);

$U^0(n)$ - zbiór zdatnych linii sieci w stanie n , ($U^0(n) = U \setminus U^1(n)$);

$S(n')$ - sieć (w sensie teorii grafów) w stanie niezawodnościowym n' , ($n' \in N$)

$$S(n') = \langle G; E^1(n'); U^1(n') \rangle.$$

Status każdego komputera e' i każdej linii u' (dla każdego określonego grafu G) zależy od stanu niezawodnościowego n' , ($n' \in N$):

$$s(e' | n') \in \{0, 1, x\}, (e' \in E);$$

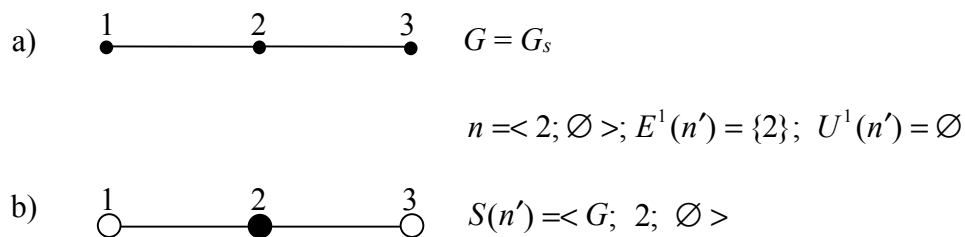
$$s(u' | n') \in \{0, 1, x\}, (u' \in U),$$

przy czym $s = x$ oznacza, że stan niezawodnościowy (odpowiednio) komputera e' lub linii u' *nie może być* określony (dla danego n') nawet w oparciu o wyniki wszystkich możliwych dialogów diagnostycznych, między komputerami sieci.

Analiza własności diagnostycznych sieci komputerowej G_s realizującej *samoczynne identyfikowanie* niezdatnych komputerów oraz linii (za pomocą określonych procedur przeprowadzania dialogu diagnostycznego, między komputerami sieci) opiera się na analizie własności zbioru:

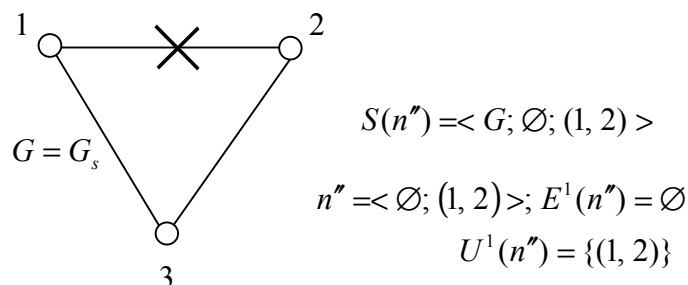
$$\{ \langle G; E^1(n'); U^1(n') \rangle : n' \in N \}.$$

Przykład 1. Przypuśćmy, że graf dialogów diagnostycznych sieci komputerowej o liniowej strukturze logicznej, jest taki sam jak graf opisujący strukturę tej sieci (rys. 2a). Przy stanie niezawodnościowym n' , (rys. 2b) status każdego komputera i każdej linii, nie może być określony.



Rys. 2 Graf dialogu diagnostycznego sieci o liniowej strukturze logicznej (a) oraz stan niezawodnościowy n' tej sieci (b)

Przykład 2. Rozpatrzmy sieć komputerową o pierścieniowej strukturze logicznej w stanie niezawodnościowym n'' , (rys. 3).



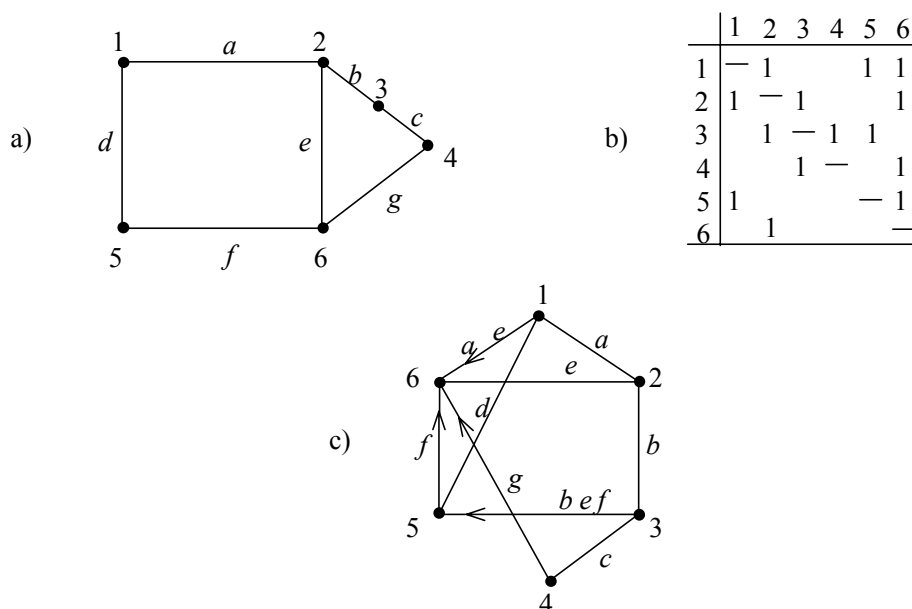
Rys. 3 Sieć komputerowa o strukturze pierścieniowej w stanie niezawodnościowym n''

W tym przypadku, status każdego komputera i każdej linii transmisji danych, jest określony.

Związek między strukturą logiczną sieci komputerowej a grafem dialogu diagnostycznego i procedurą diagnostyczną

Zbiór możliwych dialogów diagnostycznych (bez uwzględniania uczestniczących w nich linii) można opisać za pomocą macierzy dialogów diagnostycznych M , ($m_{ij} \in M, m_{ij} \in \{0, 1\}$) sieci komputerowej G_s takiej, że $m_{ij} = 1$ wtedy i tylko wtedy, gdy możliwy jest dialog diagnostyczny komputera e_i z komputerem e_j . Zauważmy, że macierz M nie musi być macierzą symetryczną.

Przykład 3. Możliwe dialogi diagnostyczne (między określonymi komputerami) w sieci komputerowej, o oczkowej strukturze logicznej (rys. 4a), opisuje macierz dialogów diagnostycznych (rys. 4b), a opis gałęzi grafu dialogów diagnostycznych (rys. 4c) wskazuje, które linie transmisji danych uczestniczą w określonym dialogu. Dla przykładu, dialog diagnostyczny komputera e_5 z komputerem e_3 nie jest możliwy, natomiast dialog diagnostyczny komputera e_3 z komputerem e_5 jest możliwy przy użyciu linii (2,3), (2,6) i (5,6).

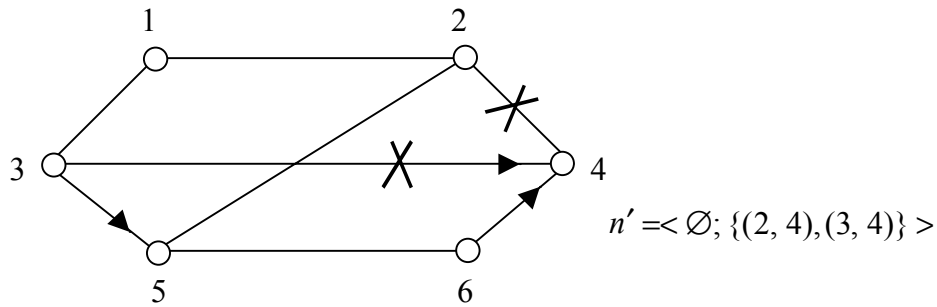


Rys. 4 Sieć komputerowa G_s o oczkowej strukturze logicznej – (a); macierz możliwych dialogów diagnostycznych w sieci G_s - (b); opisany graf G dialogów diagnostycznych sieci G_s - (c)

Jedną z podstawowych cech, omawianych procedur, jest to, że określony (na przykład, wybrany w sposób losowy) komputer e' inicjuje procedurę i kończy ją gdy od wszystkich komputerów, z którymi dokonuje dialogu (od komputerów zbioru $\Gamma(e')$, który oznaczamy również: **TESTED-BY**(e')), otrzyma odpowiedź [reakcję] poprawną. W tym przypadku (zgodnie z zależnością (3)) status wszystkich komputerów i linii uczestniczących w dialogach, inicjowanych przez komputer e' , jest równy 0. W przypadku przeciwnym, komputer e' zleca każdemu komputerowi e'' , ($e'' \in \Gamma(e')$) takiemu, że $r(e', e'') \neq r_0$ dokonanie dialogu (w miarę potrzeby) z każdym komputerem e''' , ($e''' \in \Gamma(e'') \setminus e'$) dopóki nie zostanie ustalony status komputera e'' , po czym następuje przerwanie procedury. Jeżeli po wszystkich możliwych dialogach komputera e'' nie zostanie określony jego status, to komputer e'' zleca (w miarę potrzeby) komputerowi e^* ze zbioru $\Gamma^{-1}(e'') \setminus e'$, który oznaczamy również: **TESTERS-OF**(e''), dokonanie dialogu z komputerem e'' w celu ustalenia jego statusu, po czym następuje przerwanie procedury.

Po każdym dialogu dokonanym przez komputer e , określany jest zbiór **STATUS-BY**(e) – zbiór komputerów i linii o określonym statusie oraz zbiór **INVAL-BY**(e) – komputerów i linii, które (w wyniku tego dialogu) są podejrzane o to, że są niezdatne, a po zakończeniu procedury ostateczne zbiory **STATUS=1** oraz **INVAL**.

Przykład 4. Rozpatrzmy przebieg, opisaną powyżej, procedury w przypadku gdy graf G jest grafem częściowym grafu G_s oraz $S(n') = \langle G; \emptyset; (2, 4), (3, 5) \rangle$, (rys. 5).



Rys. 5 Ilustracja grafu G dialogu diagnostycznego sieci komputerowej G_s i jej stanu niezawodnościowego n'

W przypadku gdy komputerem inicjującym, opisaną procedurę diagnostyczną, jest komputer e_3 , przebieg procedury jest następujący:

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

STATUS-BY(3): $s(1)=s(3)=s(5)=s((1,3))=s((3,5))=0$

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

TESTED-BY(4): 2

STATUS-BY(4): \emptyset

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

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

STATUS-BY(2): \emptyset

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

STATUS-BY(6): $s(4)=s(6)=s((4,6))=0$

INVAL-BY(6): \emptyset

STATUS = 1: (3,4)

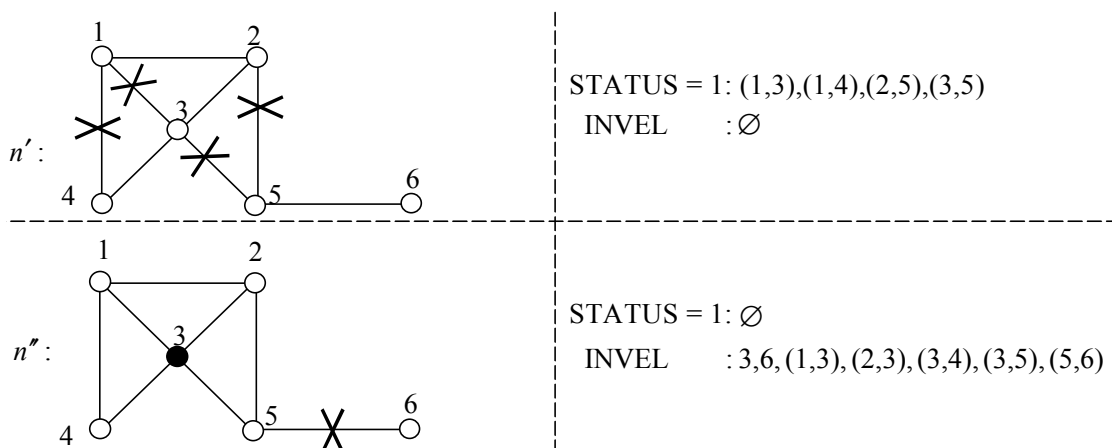
INVAL: $(2,4) \vee 2$

Analogicznie, możemy upewnić się, że jeżeli komputerem inicjującym procedurę, będzie komputer e_2 , to otrzymamy: STATUS = 1: \emptyset ; INVAL: $(2,4) \vee (3,4)$.

Zauważmy, że rozpatrywana dotychczas, procedura ma charakter lokalny – diagnozuje (z reguły) tylko część sieci komputerowej.

W niektórych zastosowaniach istotnym jest opracowanie procedury, której celem jest zidentyfikowanie, od razu, wszystkich niezdatnych elementów sieci. Mówimy, że procedura taka ma charakter globalny. Procedury o charakterze globalnym bazują, z reguły, na odpowiednim wykorzystaniu wyników [produktów] pewnego zbioru procedur lokalnych. Wymaga to gromadzenia wyników procedur lokalnych, stosowania określonych reguł inicjacji kolejnych procedur o charakterze lokalnym i(lub) wysyłania odpowiednich komunikatów do innych komputerów sieci niż te, które uczestniczyły w określonej procedurze lokalnej.

Przykład 5. Przypuśćmy, że graf G jest grafem częściowym grafu G_s . Wyznamy produkt hipotetycznej procedury o charakterze globalnym, dla grafu G w stanach niezawodnościowych n' i n'' sieci (rys. 6)



Rys. 6 Ilustracja produktu (hipotetycznej) globalnej procedury diagnostycznej dla stanów niezawodnościowych n' i n'' , określonej sieci komputerowej

Z zależności (3)÷(7), dla stanu niezawodnościowego n' otrzymujemy: $[r(1, 2) = 0] \rightarrow [s(1) = s(2) = s((1, 2)) = 0]$; $[(s(2) = 0) \wedge (r(2, 3) = r_0)] \rightarrow [s(3) = 0]$; $[(s(1) = s(3) = 0) \wedge (r(1, 3) \neq r_0)] \rightarrow [s((1, 3)) = 1]$ i tak dalej. Ostatecznie otrzymujemy: STATUS = 1: (1,3), (1,4), (2,5), (3,5) oraz INVAL: \emptyset , a więc produktem procedury jest identyfikacja wszystkich niezdatnych linii sieci. Analogicznie dla stanu niezawodnościowego n'' , otrzymujemy STATUS = 1: \emptyset oraz INVEL: 3,6, (1,3), (2,3), (3,4), (3,5), (5,6), a więc w stanie niezawodnościowym n'' nie jest identyfikowany (lokalizowany) żaden z niezdatnych elementów sieci. Otrzymany rezultat (produkt procedury globalnej) opisuje, tak zwaną, *wnikliwość lokalizacyjną samodiagnozowania* się określonej sieci w stanie niezawodnościowym n'' .

Niech $E(u')$ oraz $U(e')$ oznaczają, odpowiednio – zbiór elementów incydentnych z u' , ($u' \in U$) oraz zbiór gałęzi incydentnych z e' , ($e' \in E$) w grafie G dialogów diagnostycznych sieci komputerowej.

Zauważmy, że z zależności (3)-(7) wynika bezpośrednio, następująca własność.

Własność 1:

$$\{u' \in U^1(n')\} \rightarrow \{[s(u') = 1] \leftrightarrow [(e' \in E(u')) \rightarrow (e' \in E^0(n')) \wedge \wedge (\exists(e', e'') \in U(e') \setminus u' : ((e', e'') \in U^0(n')) \wedge (e'' \in E^0(n')))]\}.$$

Dalej, będziemy zakładać, iż linie transmisji danych sieci komputerowej są niezawodne.

Własności dialogu diagnostycznego w homogenicznych sieciach komputerowych o niezawodnych liniach

W rozważanym przypadku, własności diagnostyczne sieci komputerowej G_s , ($G_s = \langle E_s, U_s \rangle$, G_s - graf zwykły) będziemy utożsamiać z własnościami grafu dialogu diagnostycznego G , ($G = \langle E, U \rangle$, $E = E_s$, $U \subseteq U_s$).

Określając zbiór gałęzi incydentnych z określonym węzłem, będziemy mieć na myśli taki zbiór w grafie G , a nie w grafie G_s .

Zauważmy, że dokonanie najkorzystniejszego (w określonym sensie) wyboru grafu dialogu diagnostycznego określonej sieci komputerowej, jest problemem wykraczającym poza ramy niniejszych rozważań, których wyniki mogą być tylko pomocne przy jego rozwiązywaniu.

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

Z istoty dialogu diagnostycznego (zależności (3)÷(7)) wynika, że jeżeli $U^1(n') = \emptyset$, ($n' \in N$, $U^1(n')$ - zbiór niezdatnych linii transmisji danych z których, w stanie niezawodnościowym n' , korzysta sieć komputerowa w trakcie realizowania dialogów diagnostycznych) to:

$$[e' \in E^0(n') \rightarrow [(s(e'|n') = 0) \leftrightarrow (\exists e'' \in E(e') : e'' \in E^0(n'))], \quad (8)$$

oraz

$$[(e' \in E^1(n') \wedge (\exists e'' \in E(e') : s(e''|n') = 0)) \rightarrow [s(e'|n') = 1]. \quad (9)$$

Z zależności (8) i (9) wynika, że:

$$\begin{aligned} [e' \in E^1(n')] \rightarrow (s(e'|n') = 1) &\leftrightarrow (\exists e'' \in E(e') : \\ &: (e'' \in E^0(n')) \wedge (E(e'') \cap E^0(n') \neq \emptyset)). \end{aligned} \quad (10)$$

Niech $L^2(e')$ oznacza zbiór łańcuchów o długości równej dwa, których węzłem początkowym jest węzeł e' , a $E(\tau)$ oraz $U(\tau)$ odpowiednio-zbiór węzłów oraz gałęzi łańcucha τ , ($\tau \in L^2(e')$). Oznaczmy:

$$E^2(e') = \{\bigcup E(\tau) : \tau \in L^2(e')\} \setminus e',$$

oraz

$$U^2(e') = \{\bigcup U(\tau) : \tau \in L^2(e')\}.$$

Zauważmy, że

$$[(\{e', e''\} \subseteq E(e)) \wedge ((e', e'') \in U)] \rightarrow [\{e', e''\} \subseteq E^2(e)]. \quad (11)$$

Z zależności (10) wynika, że o tym czy niezdatny komputer e' może być zidentyfikowany (czy może być określony jego status) czy też nie, przesądza stan niezawodnościowy elementów zbioru $E^2(e')$.

Niech $A(e')$ oznacza zbiór takich minimalnych (w sensie własnym) podzbiorów zbioru $E^2(e')$, że:

$$\forall E' \in A(e') : [(n(e') = 1) \wedge (\forall e'' \in E' : n(e'') = 1)] \rightarrow [s(e') = x].$$

Znajomość zbioru $\{A(e') : e' \in E\}$ jest pomocna przy ocenie efektywności (skuteczności) przyjętego (proponowanego) sposobu samodiagnozowania się sieci komputerowej.

Przedstawmy zależność (10) w postaci:

$$[e \in E^1(n)] \rightarrow [(s(e|n) = 1) \leftrightarrow (\exists(e', e'') \in U(< E^2(e) > G) : (\{e', e''\} \subseteq E^0(n)) \wedge (\{e', e''\} \cap E(e) \neq \emptyset))]. \quad (12)$$

Oznaczmy:

$$U^*(e') = \{u \in U(< E^2(e') > G) : u \notin U^2(e')\};$$

$$G(e') = < E^2(e') > G,$$

oraz:

$$G^*(e') = < U(G(e')) \setminus U^*(e') > G(e').$$

Tak więc, z zależności (12) wynika, że każdy minimalny (w sensie własnym) podzbiór E' zbioru $E^2(e')$ taki, że każda składowa spójności grafu:

$$< E^2(e') \setminus E' > G^*(e')$$

jest składową jednowęzłową, jest elementem zbioru $A(e')$.

Przykład 6. Niezdatny komputer e_5 sieci G , (rys. 7a) nie może być zidentyfikowany w przypadku gdy jednocześnie są niezdatne, co najmniej, komputery e_2 i e_3 , ($\{e_2, e_3\} \in A(e_5)$) bowiem każda składowa spójności podgrafu $< E^2(e_5) \setminus \{e_2, e_3\} > G^*(e_5)$ grafu $G^*(e_5)$, (rys. 7c) jest składową jednowęzłową (rys. 7d).

Analogicznie, otrzymujemy:

$$A(1) = \{\{2, 3\}, \{3, 5\}, \{2, 4, 5\}\};$$

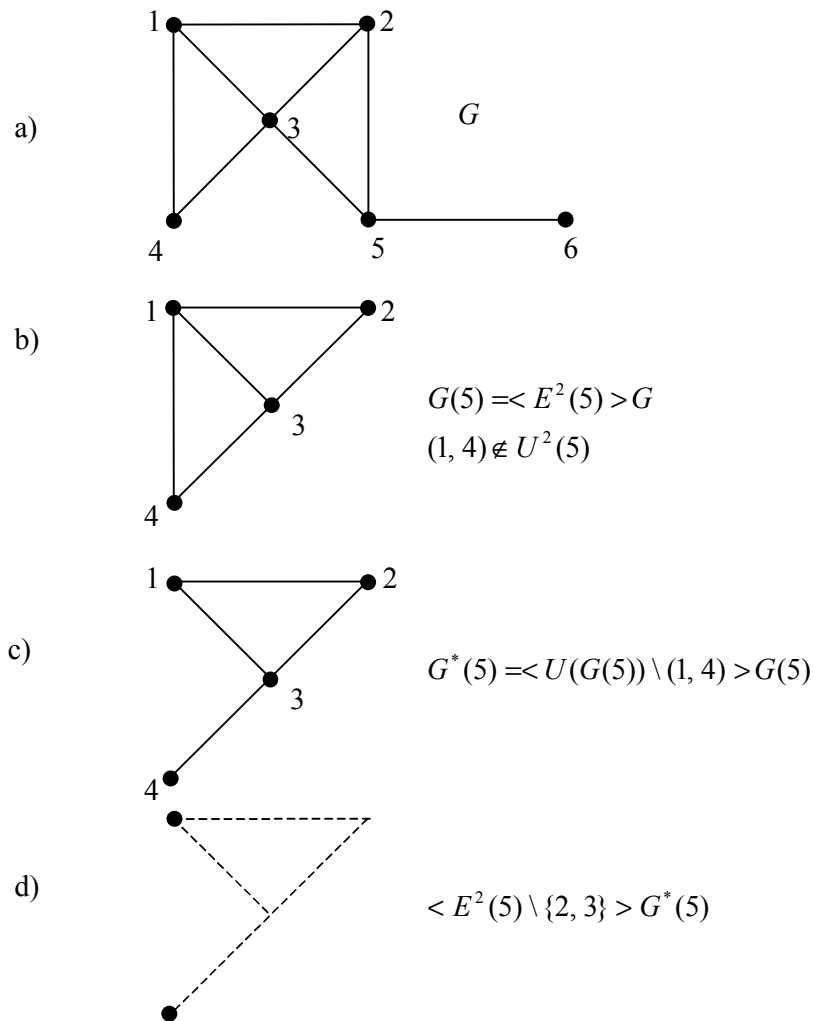
$$A(2) = \{\{1, 3, 5\}, \{1, 3, 6\}, \{1, 4, 5\}, \{3, 4, 5\}, \{3, 4, 6\}\};$$

$$A(3) = \{\{1, 5\}, \{1, 2, 6\}, \{2, 4, 5\}, \{2, 4, 6\}\};$$

$$A(4) = \{\{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 5\}\};$$

$$A(5) = \{\{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 4\}\};$$

$$A(6) = \{\{5\}, \{2, 3\}\};$$



Rys. 7. Ilustracja algorytmu wyznaczania minimalnego zbioru $A(e')$ niezdatnych komputerów powodujących, że status niezdatnego komputera e' jest nieokreślony

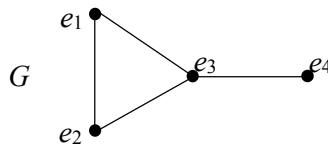
Określenie 2. Mówimy, że graf dialogu diagnostycznego G , ($|E| \geq m+2$) jest *grafem (globalnie) m -diagnostowalnym*, jeżeli:

$$\forall n \in N^m \forall e \in E^1(n) : s(e|n) = 1. \quad (13)$$

Określenie 3. Mówimy, że sieć komputerowa o niezawodnych liniach transmisji danych, jest *siecią komputerową (globalnie) m -diagnostowalną metodą dialogu diagnostycznego*, jeżeli jej graf dialogu diagnostycznego jest grafem (globalnie) m -diagnostowalnym.

Inaczej mówiąc, jeżeli sieć komputerowa jest siecią (globalnie) m -diagnostozowalną (metodą dialogu diagnostycznego), to w każdym takim stanie niezawodnościowym sieci w którym liczba niezdatnych komputerów sieci nie jest większa niż m , każdy niezdatny komputer sieci będzie zidentyfikowany (w wyniku dialogu diagnostycznego między komputerami sieci).

Zauważmy, że dla sieci (globalnie) m -diagnostozowalnej metodą dialogu diagnostycznego, może istnieć taki stan niezawodnościowy n' , ($n' \in N^m$) i taki komputer e' , ($e' \in E^0(n')$) że $s(e' | n') = x$, a więc - może istnieć sytuacja w której zdalny komputer sieci nie może (za pomocą dialogu diagnostycznego ze swoimi sąsiadami) określić swojego stanu niezawodnościowego. Dla przykładu, status komputera e_4 , 1-diagnostozowalnej sieci G , (rys. 8) w stanie niezawodnościowym $n = (0, 0, 1, 0)$ jest nieokreślony ($s(e_4 | (0, 0, 1, 0)) = x$).

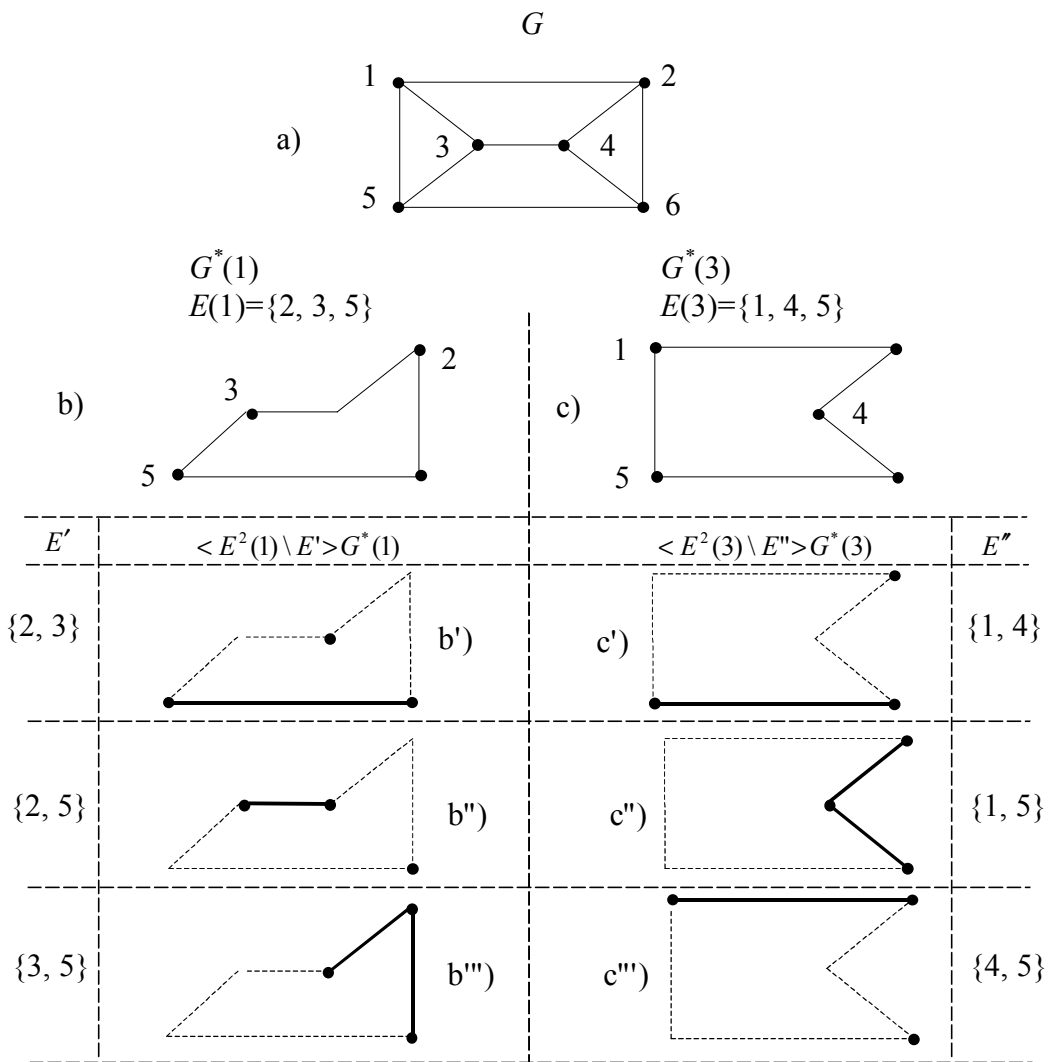


Rys. 8 Przykład sieci 1-diagnostozowalnej w której status komputera e_4 , przy stanie niezawodnościowym $(0, 0, 1, 0)$, jest nieokreślony.

Własność 5. Graf dialogu diagnostycznego G , ($|E| \geq m + 2$) jest grafem (globalnie) m -diagnostozowalnym, wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$[\forall e \in E : \mu(e) \geq m] \wedge [(\forall E' \subseteq E(e) : |E'| = m - 1) \exists s \in S(G'(e, E')) : |E(s)| \geq 2]. \quad (17)$$

Przykład 6-8. Graf G , (rys. 9) jest grafem 3-diagnostozowalnym, bowiem spełnia zależność (17). Dla węzła e_1 , zależność (17) jest spełniona, bowiem $\mu(e_1) = 3$ oraz dla każdego dwuelementowego podzbioru E' zbioru $E(e_1) = \{e_2, e_3, e_5\}$, w grafie $\langle E^2(1) \setminus E' \rangle G^*(1)$ istnieje składowa spójności zawierająca więcej niż jeden węzeł (rys. 9b', rys. 9b'' oraz rys. 9b'''). Analogicznie, upewniamy się, że zależność (17) jest spełniona dla węzła e_3 (rys. 9c, , 9c'' oraz 9c'''). Ponieważ grafy $G^*(i)$, ($i \in \{1, 2, 5, 6\}$) oraz grafy $G^*(j)$, ($j \in \{3, 4\}$) są (odpowiednio) izomorficzne, to tym samym, zależność (17) jest spełniona dla każdego węzła grafu G .



Rys. 9 Ilustracja algorytmu potwierdzającego, że sieć G jest siecią 3-diagnozowalną