

# Techniczne aspekty diagnozowania sieci procesorów o łagodnej degradacji typu sześcián 4-wymiarowy metodą prób porównawczych

**Artur ARCIUCH**

Instytut Teleinformatyki i Automatyki WAT,  
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
aarciuch@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** W publikacji zaprezentowano wybrane aspekty techniczne związane z implementacją sposobu diagnozowania sieci procesorów typu sześcián 4-wymiarowy metodą prób porównawczych. Implementacji wybranych elementów metody dokonano w sieci zbudowanej na bazie mikrokomputerów Micro2440.

**SŁOWA KLUCZOWE:** model MM, diagnostyka systemowa

## 1. Wprowadzenie

Sieci procesorów o łagodnej degradacji [2], [10], wbudowywane w inne trudno dostępne obiekty techniczne, charakteryzują się tym, że nie dokonuje się w nich naprawy (ani wymiany) procesora, który uległ uszkodzeniu, lecz wyklucza się go ze struktury logicznej sieci (blokuje się do niego dostęp), a sieć o nowej (zdegradowanej) strukturze logicznej kontynuuje funkcjonowanie pod warunkiem spełnienia określonych warunków.

W publikacji zaproponowano sposób implementacji diagnozowania sieci procesorów typu sześcián 4-wymiarowy ( $H^4$ ) metodą prób porównawczych [5], [6] w fizycznej sieci zbudowanej na bazie mikrokomputerów Micro2440.

Diagnozowanie metodą prób porównawczych należy do metod diagnostyki systemowej (ang. *system level diagnosis*) i jest jedną z metod diagnozowania stosowaną w systemach samodiagnozowalnych [9].

Sieci procesorów o łagodnej degradacji i strukturze logicznej sześciannu 4-wymiarowego ( $H^4$ ) są wynikiem rozwoju technologii wytwarzania matryc procesorów tworzących sieci o strukturach regularnych, realizowanych jako układy scalone o bardzo dużej skali integracji. Należą one do klasy sieci jednorodnych (homogenicznych), w których prawdopodobieństwo uszkodzenia się dowolnego procesora jest jednakowe.

W rozdziale drugim publikacji zamieszczono określenia i własności wykorzystywane w pozostałych rozdziałach. W rozdziale trzecim zaproponowano sposób diagnozowania sieci wykorzystujący metodę prób porównawczych.

## 2. Podstawowe określenia i własności

Strukturę logiczną sieci nazywamy strukturą typu sześciannu 4-wymiarowy ( $H^4$ ), jeżeli jest ona opisana takim spójnym grafem zwykłym  $G = \langle E, U \rangle$  ( $E$  – zbiór procesorów,  $U$  – zbiór dwukierunkowych linii transmisji danych między procesorami), którego węzły można opisać 4-wymiarowymi wektorami binarnymi (etykietami) w ten sposób, że odległość Hamminga między wektorami opisującymi procesory przyległe równa się jeden.

Jeżeli  $|E(G)| = 2^4$  i  $|E(e)| = 4$ ,  $e \in E(G)$ , gdzie  $E(e)$  oznacza zbiór węzłów przyległych do węzła  $e$ , to graf  $G$  oznaczamy przez  $H^4$ .

Struktura robocza sieci procesorów typu  $H^4$  jest spójnym podgrafem grafu  $H^4$  spełniającym określone kryteria degradacji sieci.

Diagnozowanie sieci procesorów metodą prób porównawczych polega na wnioskowaniu o stanie zdatności sieci na podstawie wyników zbioru prób porównawczych, z których w każdej uczestniczą trzy procesory. Jeden z nich  $e^* \in E$ , zwany komparatorem, zleca procesorom  $e'$  i  $e''$  ( $\{e', e''\} \subset E(e^*)$ ) jednakowe zadanie oraz sprawdza, czy wyniki wykonania tego zadania przez te procesory są identyczne. Zbiór  $\{e', e''\}$  nazywamy parą porównawczą, a symbol  $\psi = (e^*; e', e'')$  nazywamy próbą porównawczą.

Oznaczmy przez  $\Psi(G)$ ,  $E(\psi)$ ,  $K(\psi) = e^*$  oraz  $P(\psi) = \{e', e''\}$  odpowiednio: zbiór wszystkich możliwych (dla struktury  $G$ ) prób porównawczych, zbiór procesorów uczestniczących w próbie porównawczej  $\psi$ , komparator próby porównawczej oraz parę porównawczą próby  $\psi$ .

Niech  $E^1$  oraz  $E^0$  oznaczają odpowiednio zbiór niezdatnych oraz zdatnych procesorów sieci, a  $d(\psi, E^1)$  – wynik próby porównawczej  $\psi$  dla

zbioru  $E^1$  niezdatnych procesorów, przy czym  $d(\psi, E^1) = 0$  oznacza, że wyniki uzyskane od obu procesorów są identyczne, a  $d(\psi, E^1) = 1$  – przeciwnie.

Przyjmijmy, że obowiązuje następująca reguła wnioskowania z wyniku próby porównawczej  $\psi$  [5], [6]:

$$\begin{aligned} [(K(\psi) \in E^0) \wedge (P(\psi) \cap E^1 = \emptyset)] &\Rightarrow [d(\psi, E^1) = 0]; \\ [(K(\psi) \in E^0) \wedge (P(\psi) \cap E^1) \neq \emptyset] &\Rightarrow [d(\psi, E^1) = 1]; \\ [(K(\psi) \in E^1)] &\Rightarrow [d(\psi, E^1) = x, x \in \{0, 1\}]. \end{aligned} \quad (1)$$

Sieć procesorów, dla której istnieje algorytm umożliwiający zlokalizowanie niezdatnych procesorów, pod warunkiem, że jest ich nie więcej niż  $t$ , nazywamy  $t$ -lokalizacyjną siecią procesorów.

Mówimy [4], że zbiór  $\Psi' \subseteq \Psi(G)$  prób porównawczych jest pokryciem zbioru procesorów sieci próbami porównawczymi, jeżeli  $P(\Psi') = E$ . Innymi słowy: zbiór prób porównawczych jest pokryciem sieci procesorów wtedy i tylko wtedy, gdy  $\forall_{e \in E} \exists_{\psi \in \Psi'} : e \in P(\psi)$ .

### 3. Diagnozowanie sieci

Sieć procesorów pracuje w cyklach. Cykl składa się z okresu roboczego oraz z seansu diagnostycznego. Seanse diagnostyczne przeplatają się z okresami roboczymi sieci na tyle często, aby prawdopodobieństwo uszkodzenia się w okresie roboczym więcej niż jednego procesora było rzędu zerowego. W wyniku realizacji seansu diagnostycznego każdy procesor roboczy (niewykluczony z sieci z powodu niezdatności lub reguły degradacji sieci) ma zapisaną, obowiązującą, 1-lokalizacyjną strukturę sieci. Każdy procesor przechowuje informację o strukturze logicznej sieci procesorów.

Przed przystąpieniem do pierwszego cyklu roboczego procesory sieci dokonują konfiguracji sieci. Konfiguracja polega na określeniu struktury roboczej sieci. W tym celu każdy z procesorów buduje listę procesorów do niego przyległych przez przypisanie numerów procesorów przyległych do własnych interfejsów komunikacyjnych. Ponadto każdy z procesorów generuje (o ile nie jest on zapisany w pamięci procesora) wzorzec syndromu globalnego dla 1-lokalizacyjnej sieci procesorów typu sześciąt 4-wymiarowy ( $H^4$ ) diagnozowanej metodą prób porównawczych (tabela 1). W przypadku ogólnym wzorzec syndromu globalnego uwzględnia wszystkie możliwe próby porównawcze dla struktury typu  $H^4$ .

Zaproponowano następujący sposób wyznaczania wzorca syndromu globalnego dla 1-lokalizacyjnej sieci  $H^4$ . Liczba możliwych par porównawczych dla sieci 1-lokalizacyjnej  $H^4$  wynosi 96 – każdy z procesorów dokonuje sześciu komparacji. Wyniki prób porównawczych dla określonego wzorca syndromu przyporządkowanego do określonego stanu niezawodnościowego zapisujemy w postaci wektora  $s_n$  ( $n \in \{0, 1, \dots, 16\}$ ) – wymiaru  $1 \times 96$ . Przyjęto, że  $s_0$  oznacza wzorzec syndromu dla sieci, w której wszystkie procesory są zdadne. Indeksy  $n, n \in \{1, 2, \dots, 16\}$  wektora  $s_n$  oznaczają wzorzec syndromu sieci w przypadku, gdy procesor o etykiecie  $n-1$  jest niezdatny.

W wektorze  $s_n$  wyróżniono szesnaście, ponumerowanych od 0 do 15, sześcieelementowych sekwencji. Każda sekwencja zawiera wzorce prób porównawczych dla danego komparatora w określonym stanie niezawodnościowym sieci.

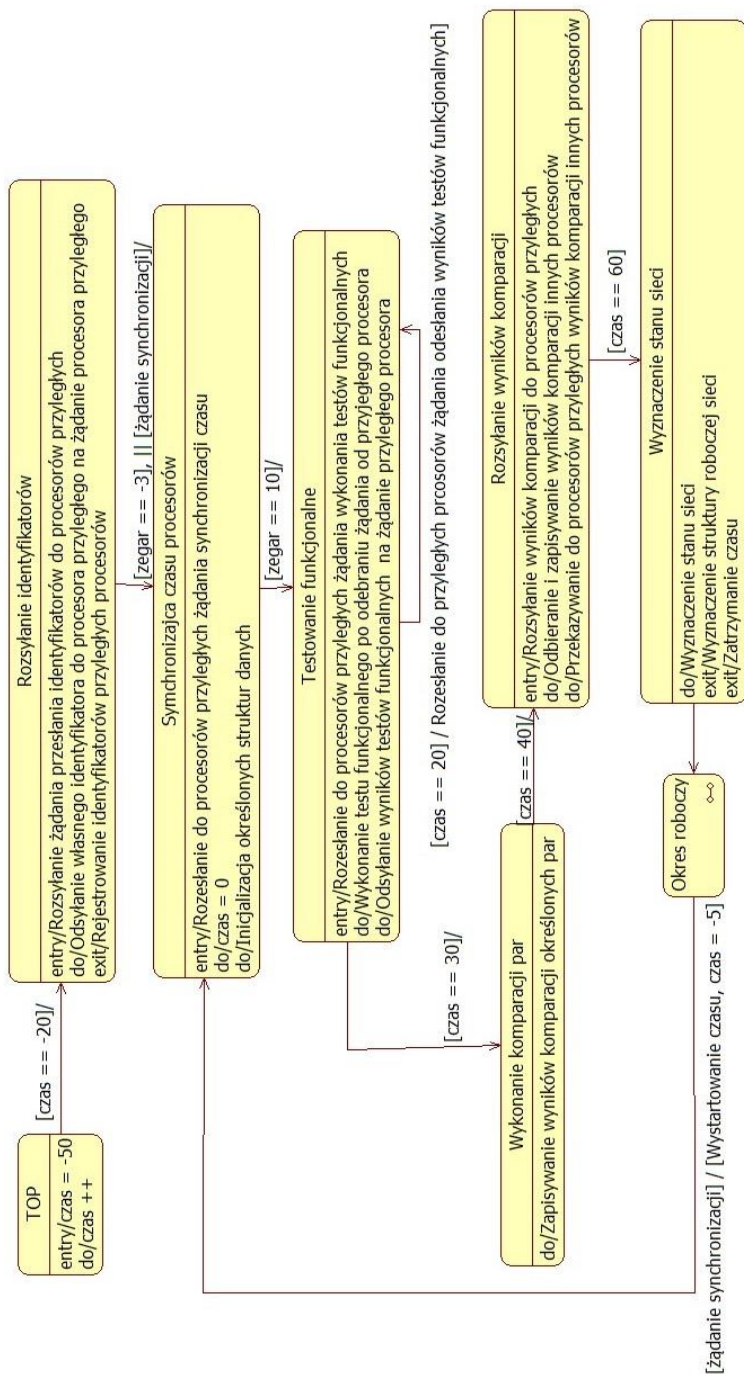
Budowanie sekwencji dla komparatora o etykiecie  $i$  przedstawiono w tabeli 1.

Wzorzec syndromu globalnego zbudowany w oparciu o regułę wnioskowania opisaną zależnością 2 (bazuje na zależności 1) pokazano na rysunku 1.

Proces diagnozowania przebiega w następujących krokach:

- 1) Każdy procesor przypisuje do swoich interfejsów komunikacyjnych numery podłączonych procesorów przyległych.
- 2) Każdy procesor, który ma więcej niż jednego sąsiada, wysyła do swoich sąsiadów żądania wykonania testu funkcjonalnego.
- 3) Każdy procesor wykonuje test funkcjonalny, ale tylko przy pierwszym zleceniu wykonania testu i zapisuje wynik testu.
- 4) Każdy procesor, który ma więcej niż jednego sąsiada, wysyła żądanie odesłania wyników testu funkcjonalnego.
- 5) Każdy procesor odsyła wynik testu funkcjonalnego.
- 6) Każdy procesor, który ma więcej niż jednego sąsiada, dokonuje oceny wyników prób porównawczych, w których pełni funkcję komparatora.
- 7) Każdy procesor, który pełni funkcję komparatora, rozsyła wyniki własnych prób porównawczych oraz dodaje i rozsyła do swoich sąsiadów wyniki prób porównawczych nadesłane od innych procesorów.
- 8) Każdy procesor wyznacza syndrom. Na podstawie syndromu jest wyznaczany stan niezawodnościowy sieci.





Rys. 2. Diagnostowanie – diagram stanów dla procesora sieci





Rys. 5. Realizacja sieci procesorów

#### 4. Podsumowanie

W publikacji pokazano techniczny aspekt diagnozowania sieci procesorów typu sześcián 4-wymiarowy metodą prób porównawczych. Rozpoznano możliwości implementacji metod diagnostyki systemowej w sieciach procesorów oraz zaimplementowano fragment metody diagnozowania metodą prób porównawczych. Osobny problem, który nie został poruszony w publikacji, a jest rozważany przez autora, stanowi dobór rodzaju i liczby zadań funkcjonalnych realizowanych przez procesory.

#### Literatura

- [1] CHUDZIKIEWICZ J., *Sieci komputerowe o strukturze logicznej typu hipersześciánu*, Instytut Automatyki i Robotyki, Wydział Cybernetyki WAT, Warszawa, 2002.
- [2] KUHL J.G., REDDY S.M., *Distributed fault-tolerance for large microprocessors systems*, in Proc. 7<sup>th</sup> Symp. Comput. Architecture, May 1980, pp. 23-30.
- [3] KUHL J.G., REDDY S.M., *Fault-diagnosis in fully distributed systems*, in Eleventh Int. Conf. Fault-Tolerant Comput. 1981, pp. 100-1005.



- [4] KULESZA R., ZIELIŃSKI Z., *Wnikliwość diagnozowania sieci procesorów metodą porównawczą*, Systemy Czasu Rzeczywistego, Postępy badań i zastosowania, praca zbiorowa pod redakcją Zbigniewa Zielińskiego, WKŁ, Warszawa, 2009, pp. 211-225.
- [5] MALEK M., MAENG J., *A Comparison Connection Assignment for Self-Diagnosis of Multiprocessor Systems*, Digest Int'l Symp.FTC, 1981, pp. 173-175.
- [6] MALEK M., *A Comparison Connection Assignment for Self-Diagnosis of Multiprocessors Systems*, Proc. Seventh Int'l Symp. Computer Architecture, 1980, pp. 31-35.
- [7] PREPARATA F.P., VUILLEMIN J., *The cube-connected cycles: a versatile network for parallel computation*, Commun. ACM, vol. 24, no. 5, pp. 300-309, May 1981.
- [8] PREPARATA F.P., METZE G., CHIEN R.T., *On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems*, IEEE Transactions on Computers 6, 1967, pp. 848-854.
- [9] SENGUPTA A., DAHBURA A.T., *On Self-Diagnosable Multiprocessors Systems: Diagnosis by the Comparison Approach*, IEEE Trans. Comput., 1992, 41, 11, pp. 1386-1396.
- [10] ZIELIŃSKI Z., CHUDZIKIEWICZ J., ARCIUCH A., KULESZA R., *Sieć procesorów o łagodnej degradacji i strukturze logicznej typu sześcianu 4-wymiarowego*, Projektowanie, analiza i implementacja systemów czasu rzeczywistego, praca zbiorowa pod redakcją Leszka Trybusa i Sławomira Samoleja, WKŁ, Warszawa, 2011, pp. 219-232.

### **Technical aspects of implementation of method of comparative trials for 4-dimensional cube with a mild type of degradation**

ABSTRACT: The paper presents technical aspects of an implementation of the MM model within a microprocessor system with a 4-dimensional cube structure. The implementation was made in a network of Micro2440 microcomputers.

KEYWORDS: MM model, system level diagnosis

*Praca wpłynęła do redakcji: 28.06.2012*