SYSTÉMOVÁ DIAGNOSTIKA REGULÁRNYCH ŠTRUKTÚR

Miroslav Mánik
5. ročník, externé štúdium

Elena Gramatová

Ústav informatiky, Slovenská akadémia vied
Dúbravská cesta 9
842 37 Bratislava
miro.manik@gmail.com

Abstrakt. Článok prezentuje systémovú diagnostiku založenú na symetrickom modeli. Bližšie opisuje 1-krokovú diagnostiku a jej boolovskú formalizáciu v t-diagnostikovateľných systémoch. Uvedená formalizácia transformuje proces dekódovania syndrómu na riešenie boolovských výrazov. Konkrétne sú opísané nové definované pravidlá pre konštrukciu výrazov založené na vlastnostiach PMC modelu a ich riešenie v systémoch s regulárnou štruktúrou. Definované pravidlá sú následne použité pre zlepšenie parametrov procesu dekódovania syndrómu.

Kľúčové slová. PMC model, t-diagnostikovateľnosť.

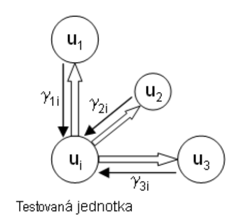
1 Úvod

Základ systémovej diagnostiky a hlavný model definovali Preparata, Metze a Chien (PMC model). Hlavným cieľom uvedenej diagnostiky je identifikácia poruchových jednotiek v rozsiahlych systémoch s vysokým počtom jednotiek prepojených vzájomne komunikačnými linkami (napr. multiprocesorové systémy, pracovné stanice v počítačovej sieti) [1]. Všetky jednotky v takýchto systémoch musia byť schopné vykonávať funkčné testovanie.

Vo všeobecnosti predpokladáme, že systém S pozostáva zo zložitejších blokov (jednotiek) u_0, u_1, u_{N-1}. Princíp systémovej diagnostiky spočíva v samočinnom funkčnom testovaní každej jednotky systému (testovaná jednotka) a poskytnutí výsledkov testovania svojim susedným jednotkám pre ohodnotenie (testujúce jednotky). Každá jednotka systému môže byť v poruchovom alebo bezporuchovom stave a predpokladá sa, že jej stav sa počas diagnostického procesu nemení.

Diagnostický proces každej jednotky pozostáva z nasledovných krokov [2]:

- testovaná jednotka u_i vykoná samočinný funkčný test,
- testovaná jednotka u_i pošle výsledky testu každej susednej testujúcej jednotke,
- testovacia jednotka porovná prijaté výsledky s očakávanými výsledkami a vygeneruje binárny testovací príznak γ.



V prípade vykonania tohto diagnostického procesu paralelne na všetkých jednotkách systému získame zo systému množinu binárnych príznakov, nazývaných syndróm sigma σ. Dekódovaním syndrómu σ následne môžeme identifikovať poruchový stav všetkých jednotiek systému (proces dekódovania syndrómu). Dekódovanie syndrómu σ vykonáva navrhnutý diagnostický algoritmus, ktorého vstupom je syndróm a výstupom je množina poruchových jednotiek.

Hlavným problémom procesu dekódovania, ktorý rieši uvedený typ diagnostiky, je skutočnosť, že ohodnotenie výsledkov poruchovými susednými jednotkami je nespoľahlivé. Testujúca poruchová jednotka ohodnotí výsledky binárnym príznakom γ nezávislým od reálneho stavu testovanej jednotky.

Ak je možné identifikovať všetky poruchové jednotky systému zo syndrómu σ v jednom kroku, diagnostika sa nazýva 1-kroková, v opačnom prípade sa nazýva sekvenčná. 1-kroková diagnostika môže byť použitá na t-diagnostikovateľný systém, ktorý spĺňa nasledovné podmienky:

- každá jednotka systému je testovaná min. t susednými jednotkami,
- počet poruchových jednotiek systému je menší ako t,
- pre počet jednotiek systému platí vzťah: $t \leq 2N + 1$.

Dôležitými parametrami úspešnej diagnostiky je korektnosť a kompletnosť [3]. V tomto prípade je výsledkom diagnostického procesu rozdelenie jednotiek systému (N) na podmnožinu jednotiek identifikovaných ako poruchové (N_f), podmnožinu bezporuchových jednotiek K a podmnožinu podozrivých jednotiek P, ktorých stav nie je možné určiť. Diagnostika je korektná ak identifikovaný stav každej jednotky je identický s jej reálnym stavom. A kompletná ak množina podozrivých jednotiek je prázdna.

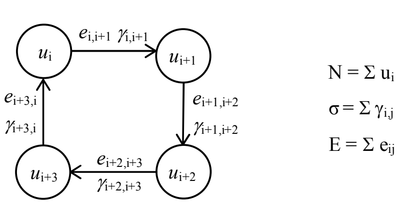
2 PMC model

Interpretácia syndrómu σ počas procesu dekódovania je realizovaná na základe použitého modelu diagnostiky. Model presne špecifikuje vplyv poruchového stavu testujúcej jednotky na výsledný binárny príznak γ, ktorým ohodnotí testovacie výsledky susednej jednotky. Základným modelmi systémovej diagnostiky je symetrický PMC model [2] a asymetrický BGM model [4]. Pravidlá zneplatnenia výsledkov pre obidva modely sú uvedené v tab 1.

Tabuľka 1: Pravidlá zneplatnenia PMC/BGM modelu

Testujúca jednotka u_i	Testovaná jednotka u_j	Testovací príznak	
		PMC model	BGM model
Bezporuchová	Bezporuchová	0	0
Fault-free	Poruchová	1	1
Poruchová	Bezporuchová	0 alebo 1	0 alebo 1
Poruchová	Poruchová	0 alebo 1	1

Pre grafickú reprezentáciu diagnostikovaného systému je v systémovej diagnostike používaný orientovaný grafový model. Príklad grafového modelu je zobrazený na obr. 1. Systém S je reprezentovaný orientovaným grafom G=(N,E), kde množina N reprezentuje množinu všetkých jednotiek systému a množina E reprezentuje testovací vzťah medzi jednotkami. Zápis $u_i \xrightarrow{\gamma} u_j$ reprezentuje testovací vzťah medzi jednotkou u_j and u_i s výsledným testovacím príznakom γ_{ij}, ($u_i,u_j \in$ E, i,j = 0,1,…,#N-1). Testovací príznak asociovaný s každou hranou $(u_i, u_j) \in$ E môže nadobúdať logické hodnoty 0 alebo 1. Ak testujúca jednotka u_i ohodnotí prijaté výsledky testov z testovanej jednotky u_j ako poruchové, príznak má hodnotu 0, v opačnom prípade 1.



Obr.1: Grafový model systému so 4-mi jednotkami

3 Boolovská formalizácia

Uvedená formalizácia vychádza z vlastností t-diagnostiky systémov v 1 kroku so symetrickým zneplatnením výsledku testu na základe PMC modelu. Rozširuje PMC model ohodnotením každej jednotky systému premennou x_i, i = 0,1,…,#N-1, ktorá reprezentuje aktuálny stav jednotky (0 = bezporuchová jednotka, 1 = poruchová jednotka). Problém identifikácie poruchových jednotiek zo syndrómu σ je potom založený na výpočte premenných x_i pre všetky jednotky v systéme. Proces dekódovania syndrómu σ je týmto spôsobom transformovaný na výpočet boolovských výrazov. Pre každý binárny príznak γ je generovaný práve jeden konkrétny výraz. Proces dekódovania syndrómu σ je založený na riešení generovaných boolovských výrazov zapísaných do normálnej konjuktívnej formy B [2]:

$$B = \prod_{k=1}^{k=\#E} B_k \text{, kde}$$

$$B_k = (x_i + x_j) \Leftrightarrow \gamma_{ij} = 1 \; (u_i \xrightarrow{1} u_j) \text{ ; } B_k = (x_i + \overline{x}_j) \Leftrightarrow \gamma_{ij} = 0 \; (u_i \xrightarrow{0} u_j)$$

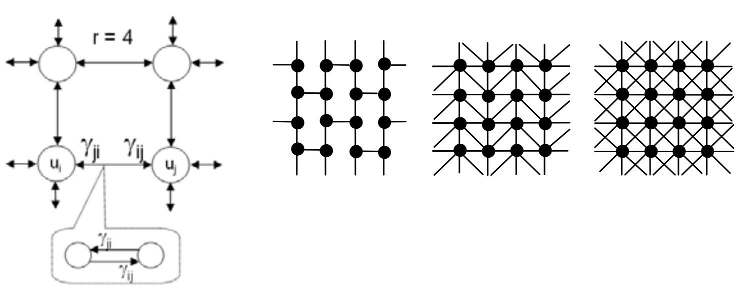
Diagnostický algoritmus pre boolovskú formalizáciu je založený na generovaní a riešení boolovskej funkcie B. Výsledkom riešenia je boolovský vektor, kde každá premenná x_i reprezentuje aktuálny poruchový stav konkrétnej jednotky u_i. Ak existuje iba jedno riešenie funkcie B, proces dekódovania je možné vykonať v 1 kroku. V opačnom prípade je nutné použiť sekvenčnú diagnostiku. Z praktického hľadiska sa čas potrebný na dekódovanie syndrómu skladá z času potrebného na generovania boolovskej funkcie B a hlavne z času potrebného na jej riešenie. Časová náročnosť riešenia funkcie B má exponenciálny charakter a z tohto dôvodu je možné použiť boolovskú formalizáciu iba pri systémoch s rádovo 10-kami jednotiek.

Moja práca je zameraná na zjednodušenie procesu generovania výslednej boolovskej funkcie a následne zníženie časových nárokov jej riešenia použitím vlastností PMC modelu v systémoch s regulárnou štruktúrou.

3.1 Rozšírenie pre regulárne štruktúry

V prípade použitia boolovskej formalizácie na systémy s regulárnou štruktúrou je možné značne zjednodušiť proces dekódovania syndrómu σ. Systém je v tomto prípade reprezentovaný r-regulárnym grafom G, kde všetky jednotky majú rovnaký počet susedných jednotiek a všetky susedné jednotky v systéme vykonávajú vzájomné testovanie. Tzn. že všetky testovacie prepojenia sú obojstranné (obr. 2) [5].

Stupeň diagnostikovateľnosti t je v tomto prípade ekvivalentný so stupňom regulárnosti systému. Pri vyšších stupňoch regulárnosti systému a počtu jednotiek systému je však možné zvýšiť odhadovaný minimálny stupeň diagnostikovateľnosti.



Obr.2: Regulárna štruktúra typu mriežka G4, G3, G6, G8

3.1.1 Generovanie boolovskej funkcie

Na základe definovaných vlastností regulárneho systému a PMC modelu môžeme pre aktuálny syndróm σ definovať nové pravidlá pre generovanie boolovskej funkcie B. Pre každú kombináciu testovacích príznakov medzi dvomi susednými jednotkami je presne priradený nový boolovský výraz definovaný v [6]. Výsledná boolovská funkcia potom pozostáva iba zo súčinu týchto výrazov:

$$B = \prod_{k=1}^{k=\#E} B_k \text{ , kde}$$

$$B_k = (x_i\ \overline{x}_j) \Leftrightarrow u_i \xleftrightarrow{0 \quad 1} u_j \ ; \ B_k = (x_i\, x_j + \overline{x}_i\, \overline{x}_j) \Leftrightarrow u_i \xleftrightarrow{0 \quad 0} u_j \ ; \ B_k = (x_i + x_j) \Leftrightarrow u_i \xleftrightarrow{1 \quad 1} u_j$$

3.1.2 Riešenie boolovskej funkcie

Pre zjednodušenie procesu dekódovania použijeme nový prístup využívajúci dekompozíciu regulárnej štruktúry systému na menšie uzavreté podsystémy [7]. Na základe tejto dekompozície je možné rozdeliť riešenie boolovského výrazu B na menšie nezávislé elementy. Výsledná poruchová množina jednotiek N_f je potom zložená z riešení týchto menších celkov na základe definovaných pravidiel.

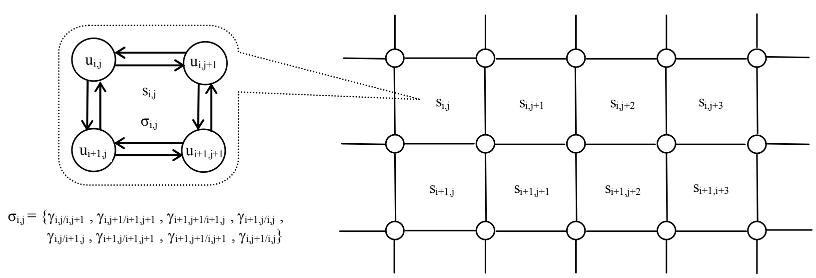
Dekompozícia systému je založená na rozdelení systému podľa jeho regulárnej štruktúry. Aktuálny stav takéhoto systému S môžeme popísať nasledovnou množinou:

$$A = (S, \sigma, N_f) \text{, kde}$$

S = systém s regulárnou štruktúrou, σ = aktuálny syndróm, N_f = poruchová množina jednotiek

Uvedenú množinu A môžeme na základe štruktúry systému rozdeliť do podmnožín $A_i = (S_i, \sigma_i, F_i)$, kde i = 0,1,...,#A-1. Dekompozícia vznikne rozdelením grafu systému G na nedisjunktné podgrafy $G_i = (N_i, E_i)$, ktoré majú spoločné hrany (testovacie prepojenia) a uzly (jednotky). Príklad dekompozície je zobrazený na obr. 3. Pre dekompozíciu grafu G platia nasledovné pravidlá:

1. Susedné vrcholy každého podgrafu $N_i \in G_i$ sú spojené práve 1 obojsmernou testovacou hranou. Počet vrcholov N_i je identický so stupňom regulárnosti štruktúry systému. Každý uzol systému patrí minimálne do jedného podgrafu G_i ($\cup N_i = N$).
2. Hrany každého podgrafu $E_i \in G_i$ tvoria obojsmerný cyklus. Počet hrán E_i je identický s dvojnásobkom stupňa regulárnosti štruktúry systému. Každá hrana systému patrí minimálne do jedného podgrafu G_i ($\cup E_i = E$).
3. Syndróm σ_i pre množinu A_i je podmnožinou testovacích príznakov γ_{xy} celkového syndrómu σ, pre ktoré platí $\sigma_i = \{\gamma_{xy}; u_x, u_y \in N_i, (e_x, e_y) \in E_i\}$.



Obr.3: Podsystém S_{ij} v regulárnej štruktúre typu mriežka

K aktuálnemu syndrómu σ_i každej množiny A_i môžeme priradiť boolovský výraz B_i podľa pravidiel definovaných v predchádzajúcej kapitole. Riešením funkcie $B_i = 1$ dostaneme množinu boolovských vektorov $R_i = \{R_{i0}, \ldots, R_{i\#R_i-1}\}$. Identifikácia poruchových jednotiek celého systému spočíva v zložení výsledného boolovského vektora R z týchto elementárnych vektorov. Proces kompozície musí spĺňať nasledovné pravidlá:

1. Výsledný vektor R obsahuje práve jeden vektor z každej množiny R_i.
2. Pre každú premennú x_z ,z = 0,1,...,#N-1 vo vektoroch R_i, ktoré patria do výsledného vektora R platí, že stav tejto premennej x_z má vo všetkých vektoroch R_i identickú hodnotu. Čo znamená, že pre každú dvojicu R_{iq}, R_{jp} ($i \neq j$, $R_{iq} \in R$, $R_{jp} \in R$, i,j = 0,1,…,#A-1, q = 0,1,…,#R_i-1, p = 0,1,…,#R_j-1) platí, že x_z nadobúda rovnaké hodnoty 1 alebo 0 pre$\forall x_r \in R_{iq} \cap R_{jp}$.

Aktuálna poruchová množina N_f je v boolovskom vektore R reprezentovaná premennými, ktoré nadobúdajú hodnotu 1.

4 Simulačné experimenty

Simulačné experimenty boli zamerané na overenie výkonnosti nového navrhnutého diagnostického algoritmu opísaného v kapitole 3. Okrem sledovania korektnosti a kompletnosti bol hlavne sledovaný aj časový ukazovateľ dekódovania syndrómu. Hlavným cieľom použitia nového algoritmu totiž bolo zlepšenie časovej náročnosti základného prístupu založeného na boolovskej formalizácii. Pre porovnanie bol vybraný heuristický algoritmus EDARS so zložitosťou O(nt) pre systémy s regulárnou štruktúrou založený na PMC modeli uvedený v [8].

Za cieľ diagnostiky bol vybraný programovo simulovaný regulárny t-diagnostikovateľný systém typu mriežka s veľkosťou od 64 do 16384 jednotiek. Stupeň diagnostikovateľnosti presne určuje maximálny počet poruchových jednotiek v systéme a pre regulárne štruktúry je identický so stupňom regulárnosti (t = 4). Distribúcia poruchových stavov v systéme bola rovnomerne rozdelená na všetky jednotky v systéme pomocou implementovaného programového simulátora porúch s 50% pravdepodobnosťou výskytu poruchového stavu každej jednotky.

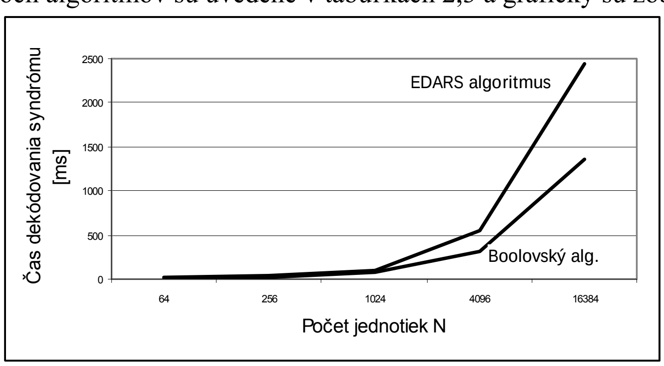
Tabuľka 2: Simulačné experimenty EDARS

Počet jednotiek N	Kompletnosť [%]	Priemerný čas [ms]	Odchýlka
8x8	100	6,1	7,88
16x16	100	16,9	4,97
32x32	100	75	12,11
64x64	100	306,8	7,22
128x128	100	1360,1	14,36

Tabuľka 3: Simulačné experimenty boolovského alg.

Počet jednotiek N	Kompletnosť [%]	Priemerný čas [ms]	Odchýlka
8x8	100	4,6	7,41
16x16	100	13,9	4,9
32x32	100	15,7	7,55
64x64	100	250	7,07
128x128	100	1076,6	27,98

Pri simuláciách identifikoval boolovský algoritmus podobne ako aj EDARS algoritmus korektne stav všetkých jednotiek v systéme. Z toho vyplýva, že boolovský algoritmus spĺňa na 100% pri zachovaní podmienky t-diagnostikovateľnosti parametre korektnosti a kompletnosti diagnostiky. Časové nároky obidvoch algoritmov sú uvedené v tabuľkách 2,3 a graficky sú zobrazené na obr. 4.



Obr.4: Porovnanie časových výsledkov simulácií

5 Ciele dizertačnej práce

Ciele dizertačnej práce vychádzajú z uvedeného nového algoritmu boolovskej formalizácie. Podľa teoretických predpokladov a predbežných experimentálnych výsledkov tento algoritmus zreteľne zlepšuje časové nároky pôvodnej boolovskej formalizácie. Samotné ciele dizertačnej práce pozostávajú z nasledovných bodov:

- teoretické definovanie formálneho modelu pre rozšírenú boolovskú diagnostiku v regulárnych štruktúrach,
- získanie experimentálnych výsledkov rozšírenej formalizácie aj pre iné regulárne štruktúry ako mriežka pri zachovaní podmienky diagnostikovateľnosti systému. Vyhodnotenie sledovaných kritérií (časová náročnosť a pamäťové nároky) a porovnanie s heuristickými metódami.
- definovanie teoretických vlastností rozšírenej boolovskej formalizácie pri prekročení stupňa diagnostikovateľnosti. Vykonanie experimentálnych simulácií a porovnanie výsledkov s heuristickými metódami. V tomto prípade bude porovnávacím kritériom pri experimentálnych výsledkoch okrem časových a pamäťových nárokov hlavne vplyv väčšieho počtu poruchových jednotiek na kompletnosť a korektnosť tohto algoritmu.

6 Záver

Navrhnutý nový algoritmus boolovskej formalizácie značne minimalizuje časové nároky pôvodného boolovského prístupu v systémoch s regulárnou štruktúrou. Zatiaľ čo pôvodný algoritmus bol použiteľný iba na systémy s rádovo 10-kami jednotiek, navrhnutý algoritmus je schopný vykonať dekódovací proces syndrómu v prijateľnom čase aj pre systémy s tisíckami jednotiek. Pri porovnaní s heuristickým algoritmom EDARS boli zistené identické výsledky diagnostiky a dokonca menšia časová zložitosť nového navrhnutého boolovského algoritmu.

Literatúra

[1] G.Y. Chang, G.J. Chang, G.H. Chen, "Diagnosabilities of regular networks", *2007 International Conference on Graph Theory and Combinatorics & Fourth Cross-strait Conference on Graph Theory and Combinatorics*, June 2007.

[2] Manik, M, Gramatova, E.: "An Extended Formalisation in the PMC System Model For Faulty Units Identification", *Proc.of Baltic Electronics Conference*, BEC 2004.

[3] R. Ahlswede, H. Aydinian, "On diagnosability of large multiprocessor networks", *Discrete Applied Mathematics, vol.156*, November 2008.

[4] V. A. Vedeshenkov, "On the Model-Based Diagnosis of Failed Modules and Communication Lines in Digital Systems", *Automation and Remote Control, vol. 63*, February 2002.

[5] A. Caruso, S. Chessa, P. Maestrini, "Worst-Case Diagnosis Completeness in Regular Graphs under the PMC Model", *IEEE Transations On Computers*, *vol. 56, no.7*, July 2007.

[6] M. Manik, E. Gramatova, "Diagnosis of Faulty Units in Regular Graphs under the PMC Model", *Proc.of Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems*, DDECS 2009.

[7] M. Manik, E. Gramatova, "Boolean formalization of the PMC model for faulty units diagnosis in regular multi-processor systems", *Proc.of Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems*, DDECS 2008.

[8] Caruso, A, Chessa, S, Maestrini, P, Santi, P.: "Diagnosability of Regular Systems", *Journal of Algorithms*, *vol.45*, 2002.