

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Elektroniki



Autoreferat rozprawy doktorskiej

mgr inż. Jakub Oleksiak

**Hierarchical Diagnosis of Technical Systems
on the Basis of
Model and Expert Knowledge**

**Promotor:
Dr hab. inż. Antoni Ligęza, prof. n. AGH**

1 Wstęp

Diagnostyka nowoczesnych systemów technicznych jest zadaniem trudnym. Dzieje się tak głównie ze względu na rosnącą złożoność i rozmiar systemów technicznych składających się z coraz większej liczby modułów i komponentów.

Podobnie jak i same systemy, tak i ich diagnostyka jest coraz bardziej złożonym procesem wnioskowania, wykorzystującym różnorodne paradygmaty rozumowania. Większość metod diagnostycznych jest jednak jednopoziomowa; analizie podlegają wszystkie komponenty, przy czym badane są one na jednakowym poziomie szczegółowości. Takie podejście sprawia że niektóre złożone obliczeniowo metody diagnostyczne stają się nieefektywne ze względu na czas niezbędny do wygenerowania diagnozy.

Celowe wydaje się rozszerzenie tego podejścia dla umożliwienia hierarchicznej diagnostyki w przypadku systemów złożonych. Istotą proponowanego tutaj rozwiązania jest odpowiednie zamodelowanie hierarchicznej struktury diagnozowanego systemu, a następnie prowadzenie wnioskowania diagnostycznego na kolejnych poziomach szczegółowości reprezentacji.

Jako tezę niniejszej rozprawy doktorskiej autor przedstawia następujące twierdzenie:

Diagnostyka hierarchiczna jest racjonalnym rozwiązaniem w przypadku złożonych systemów technicznych. Można zaprojektować efektywną hierarchiczną metodologię diagnostyczną która będzie mogła wykorzystywać metody bazujące na niespójnościach w obserwowanym systemie jak i grafy przyczynowo-skutkowe AND/OR/NOT. Takie podejście pozwoli na nową jakościowo, elastyczną analizę błędów złożonych systemów technicznych i efektywne ich diagnozowanie.

Przedstawiane poniżej rozwiązanie umożliwia zredukowanie czasu niezbędnego do otrzymania diagnoz i ich ilości przez użycie podejścia hierarchicznego bazującego na metodach inżynierii wiedzy. Redukcja jest osiągnięta dzięki dwóm zasadniczym czynnikom:

1. Pierwszym jest model hierarchiczny, pozwalający ograniczyć obszar poszukiwań potencjalnych diagnoz do poszczególnych poziomów modelu hierarchicznego i weryfikować poszczególne diagnozy na poziomach niższych od aktualnie analizowanego.
2. Drugim jest możliwość użycia różnych rodzajów opisu diagnostycznego na różnych poziomach modelu hierarchicznego, co pozwala dopasować reprezentacje do systemu modelowanego na danym poziomie.

Ponadto do zalet wynikających z dwóch powyższych czynników można zaliczyć:

- Możliwość wyboru poziomu szczegółowości diagnozy,
- Lepszą możliwość dopasowania modelu do diagnozowanego systemu,
- Analiza diagnostyczna skupia się na jednym podsystemie podczas gdy inne nie są brane pod uwagę,
- Możliwość zastosowania innych mechanizmów sterujących i usprawniających wnioskowanie np. informacja o częstotliwości występowania uszkodzeń danego typu czy procedur weryfikacyjnych.

Modele hierarchiczne były rozważane zaledwie przez kilku autorów; na przykład: teoretyczna klasyfikacja systemów hierarchicznych w (Giunchiglia and Walsh, 1989) czy diagnostyka hierarchiczna bazująca na ograniczeniach (Mozetič, 1991).

Tutaj jednak inne, oryginalne, bazujące na modelu, podejście hierarchiczne będzie rozpatrywane. Oparte jest ono na bezpośrednim modelowaniu hierarchii komponentów które mogą rekursywnie zawierać inne komponenty.

W artykule użyta jest terminologia i notacja zaczerpnięta z pracy Reiter'a (Reiter, 1987) traktującej o diagnozowaniu systemów na podstawie ich modelu. Reiter definiuje model jako zbiór komponentów oraz relacji między nimi: System jest parą (SD, COMPONENTS) gdzie:

- SD, opis systemu, jest zbiorem zdań w logice pierwszego rzędu;
- COMPONENTS, komponenty systemu, jest skończonym zbiorem stałych.

W klasycznym podejściu Reiter'a, komponenty traktowane są jako niepodzielne atomy; tu przedstawione będą dwa ich rodzaje: złożone i elementarne. Opis diagnostyczny komponentów złożonych może bazować na każdym rodzaj opisu diagnostycznego który pozwala na otrzymanie diagnoz jako zbioru uszkodzonych podkomponentów.

2 Hierarchiczny model systemu

2.1 Komponenty proste i złożone

Ze względu na diagnostykę hierarchiczną proponuje się rozszerzyć definicję Reiter'a o system złożony, rekursywnie zawierający komponenty mające strukturę wewnętrzną. Komponent c jest:

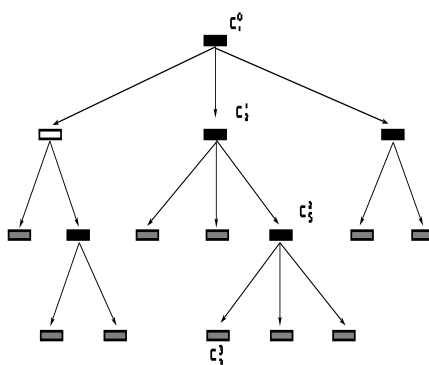
- komponentem elementarnym $c \in EC$, lub
- komponentem złożonym $c = (CD, SUBC)$, gdzie CD jest opisem komponentu, a $SUBC$ jest zbiorem jego podkomponentów.

Komponenty proste *ELEMENTARY COMPONENTS* (EC skrótowo) są stałymi w sensie prezentowanym w [5]. Ich wewnętrzna struktura nie jest rozważana. Powyższa definicja umożliwia stworzenie drzewa reprezentującego strukturę systemu - relacji między komponentami i ich podkomponentami (np. Rys. 1). Komponenty elementarne są liśćmi tego drzewa, nie mają już następników. Korzeń drzewa jest komponentem głównym który reprezentuje cały modelowany system. Jeżeli $c = (CD, SUBC)$ jest komponentem, to c jest bezpośrednim nadkomponentem dla każdego komponentu $c_i \in SUBC$, i odwrotnie c_i jest bezpośrednim podkomponentem dla c .

Numer poziomu hierarchicznego jest przypisany do każdego węzła reprezentującego kilka podkomponentów w drzewie. Do komponentu głównego przypisany jest numer 0. Do każdego innego komponentu przypisany jest numer $m + 1$, gdzie m jest numerem poziomu jego nadkomponentu. Dla oznaczenia że komponent c_i jest położony na poziomie j możemy zapisać c_i^j . Każdy komponent może być opisany przez zbiór zmiennych, definiujących np. jego wejścia i wyjścia. Zmienne te będą nazywane atrybutami komponentu. Dla wygenerowania diagnoz niezbędne są obserwacje poczynione na rzeczywistym obiekcie co rozszerza definicję komponentu: $(CD_i^j, SUBC_i^{j+1}, OBS_i^j)$ dla komponentu c_i^j z obserwacjami OBS_i^j .

2.2 Problem diagnostyczny

Aktualne obserwacje mogą być zgodne z przewidywanym zachowaniem komponentu i w takim wypadku jest on traktowany jako pracujący poprawnie; możemy to zapisać $\neg AB(c_i)$. Jeżeli obserwacje są różne od spodziewanego zachowania komponentu to jest on uważany za uszkodzony ($AB(c_i)$ oznacza że komponent c_i zachowuje się ABnormalnie) i co najmniej jeden jego podkomponent zachowuje się niewłaściwie. Problem diagnostyczny może być zapisany następująco:



Rysunek 1: Drzewo struktury systemu dla hipotetycznego systemu

Problem diagnostyczny P_i^j dla komponentu c_i^j zdefiniowany na poziomie j jest określony jako czwórka:

$$P_i^j = (c_i^j, CD_i^j, SUBC_i^{j+1}, OBS_i^j)$$

gdzie CD_i^j definiuje model dla komponentu c_i^j , $SUBC_i^{j+1}$ zawiera jego bezpośrednie podkomponenty, OBS_i^j zawiera aktualne obserwacje na poziomie j dla komponentu c_i^j .

2.3 Mapowanie obserwacji pomiędzy poziomami

Dla przeprowadzenia diagnostyki w modelu hierarchicznym niezbędne jest zdefiniowanie sposobu przepisywania informacji z poziomu j na poziom $j + 1$. Do tego celu służą dwie funkcje:

- funkcja ogniskująca F (focus) - pozwalająca określić wartości atrybutów podkomponentów na podstawie aktualnych obserwacji,
- funkcja hierarchiczna H - pozwalająca na mapowanie wartości atrybutów podkomponentów do obserwacji podkomponentów.

Funkcja skupiająca F_i^j jest funkcją mapującą obserwacje komponentu c_i^j na poziomie j do atrybutów jego bezpośrednich podkomponentów na poziomie $j + 1$.

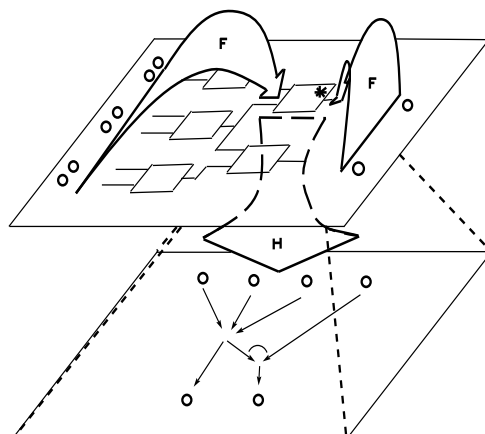
$$F_i^j : OBS_i^j \xrightarrow{P} ATTRIBUTES_i^{j+1},$$

gdzie $ATTRIBUTES_i^{j+1}$ jest kolekcją zbiorów ATR_d^{j+1} . Zbiór ATR_d^{j+1} zawiera atrybuty podkomponentów zawartych w diagnozie d , która jest rozwiązaniem problemu diagnostycznego P_i^j .

Funkcja hierarchiczna H_k^{j+1} jest funkcją mapującą atrybuty podkomponentu c_k^{j+1} na poziomie $j + 1$ do jego obserwacji

$$H_k^{j+1} : ATR_k^{j+1} \rightarrow OBS_k^{j+1}.$$

W praktyce funkcja hierarchiczna jest używana głównie do konwersji formy informacji diagnostycznej. Rysunek 2 przedstawia obie funkcje w graficzny i intuicyjny sposób. Niech c_k^{j+1} będzie bezpośrednim podkomponentem komponentu c_i^j . Obserwacje odnoszące się do c_k^{j+1} będą oznaczone jako OBS_k^{j+1} i możemy zapisać $OBS_k^{j+1} \in H \circ F(OBS_i^j)$. Jeżeli podkomponent c_k^{j+1} jest zdiagnozowany jako uszkodzony na podstawie obserwacji OBS_i^j na poziomie j , to obserwacje OBS_k^{j+1} będące rezultatem mapowania w dół do poziomu $j + 1$ mogą należeć do jednej z trzech poniższych kategorii:



Rysunek 2: Funkcje: ogniskująca i hierarchiczna

- $(H \circ F)''$ - obserwacje są zgodne z opisem prawidłowego zachowania komponentu c_k^{j+1} , opis nieprawidłowego działania komponentu c_i^j jest zbyt ogólny. Ten przypadek jest podobny do abstrakcji typu TC (Giunchiglia and Walsh, 1989). Diagnoza jest odrzucana jako nieprawidłowa,
- $(H \circ F)$ - obserwacje są zgodne z opisem nieprawidłowego zachowania komponentu c_k^{j+1} . W tym przypadku procedura diagnostyczna może być kontynuowana na niższych poziomach hierarchii,
- $(H \circ F)'$ - obserwacje nie są zgodne ani z opisem prawidłowego działania ani nieprawidłowego działania komponentu c_k^{j+1} . Opisy są niekompletne.

3 Hierarchiczny algorytm diagnostyczny

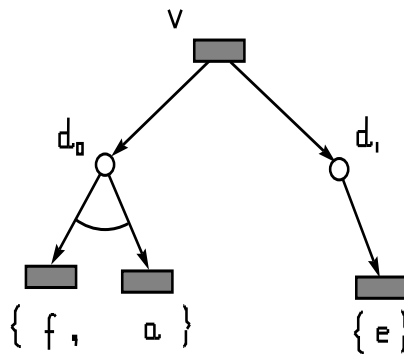
Prezentowany algorytm jest implementacją przedstawionej powyżej hierarchicznej metodologii diagnostycznej i składa się z globalnej procedury diagnostycznej i procedury lokalnej.

3.1 Lokalny algorytm diagnostyczny

Lokalna procedura diagnostyczna diagnozuje komponenty przy użyciu odpowiedniej dla ich opisu diagnostycznego CD metodologii. Rezultatem działania lokalnego algorytmu diagnostycznego jest graf pośredni. Głównym powodem użycia graficznej reprezentacji wyników jest jej czytelność. Graf pośredni jest dysjunkcją wszystkich diagnoz wygenerowanych dla danego komponentu gdzie każda diagnoza jest reprezentowana przez koniunkcję uszkodzonych komponentów zawartych w tej diagnozie. Liście grafu pośredniego są oznaczane nazwami komponentów występujących w diagnozach.

Notacja graficzna użyta w tym grafie jest podobna do używanej w grafach przyczynowo-skutkowych np. (Ligeża and Fuster-Parra, 1997). Dla przypomnienia grafy przyczynowo-skutkowe definiuje się jako acykliczne, skierowane grafy z węzłami modelującymi proste funkcje logiczne: AND, OR lub NOT. Węzeł AND reprezentuje logiczną koniunkcję wartości poprzedzających go węzłów, węzeł OR reprezentuje dysjunkcję tychże wartości, NOT zaś ich negacje. Węzeł

AND jest reprezentowany na grafie jako węzeł z dodatkowym łukiem pod węzłem, OR zaś jest zwykłym węzłem.



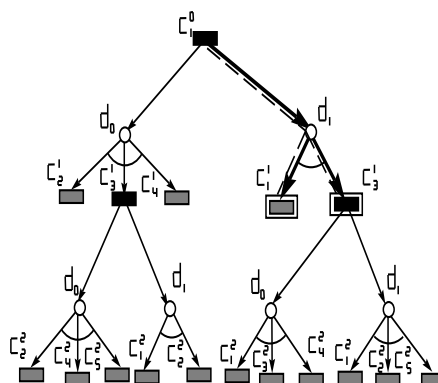
Rysunek 3: Graf pośredni dla zaworu. Diagnostami są: $\{f, a\}$, $\{e\}$.

3.2 Globalny algorytm diagnostyczny

Rezultatem procedury diagnostycznej dla komponentu złożonego jest kolekcja alternatywnych diagnoz. Każda z diagnoz wyjaśnia niewłaściwe zachowanie komponentu i zawiera jakieś jego podkomponenty. Wszystkie podkomponenty w diagnozie muszą być uszkodzone dla utrzymania zgodności pomiędzy obserwacjami i opisem zachowania komponentu. Logiczny aspekt diagnostyki hierarchicznej wymaga aby poniższa formuła była rekurencyjnie spełniona:

$$AB(c_i^j) = \exists_{d_k \in D_i} (\forall_{c_n^{j+1} \in d_k} AB(c_n^{j+1}))$$

Rekursja tej formuły jest zakończona kiedy kolekcja diagnoz jest pusta lub mamy do czynienia z komponentem elementarnym.



Rysunek 4: Drzewo diagnoz T_R z zaznaczoną diagnozą hierarchiczną $\{c_1^1, c_3^1\}$

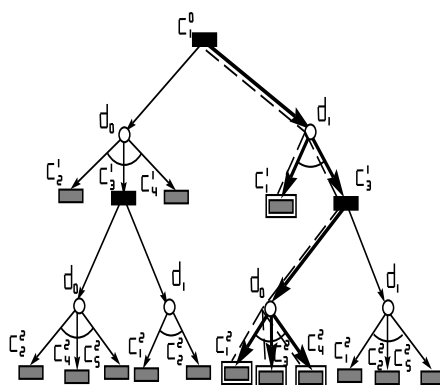
Bardziej precyzyjnie, procedura diagnostyczna jest zatrzymana i zawrócona gdy:

- Diagnozowany komponent jest komponentem elementarnym;
- Nie jest możliwe ustalenie wartości dostatecznej liczby atrybutów lub obserwacji diagnozowanego komponentu,
- Lokalna procedura diagnostyczna kończy działanie bez wygenerowania żadnej diagnozy,
- Wartości niektórych atrybutów są w konflikcie z ich domenami lub innymi ograniczeniami narzuconymi na te atrybuty.

Końcowy rezultat procesu diagnostycznego może być zaprezentowany w formie graficznej jako proste drzewo diagnoz T_R (np. Rys. 4). Każdy złożony komponent c_i^j jest przypisywany do węzła komponentu, jest to węzeł typu OR. Każda diagnoza d_k komponentu c_i^j jest reprezentowana przez jego następnik w drzewie - węzeł diagnozy; jest to węzeł typu AND. Każdy podkomponent komponentu c_i^j który należy do diagnozy jest następnikiem tego węzła diagnozy.

Węzeł diagnozy może być rozwinięty do węzłów komponentów i dalej węzły komponentów mogą być rozwinięte do węzłów diagnoz (jeśli tylko diagnozy istnieją na niższych poziomach). Reszta drzewa jest budowana rekursywnie w dół począwszy od korzenia i odnośnie do rezultatów diagnozowanie komponentów złożonych. Diagnoza hierarchiczna dla komponentu c_i^j na poziomie j jest każde poddrzewo spełniające następujące warunki:

- korzeniem poddrzewa jest jakikolwiek z węzłów diagnoz położony bezpośrednio poniżej węzła komponentu c_i^j ,
- dla jakiegokolwiek węzła komponentu c_n^k w drzewie, co najwyżej jedno poddrzewo z jego korzeniem będącym węzłem diagnozy dla węzła komponentu c_n^k należy do poddrzewa definiującego diagnozę hierarchiczną.



Rysunek 5: Drzewo diagnoz T_R z zaznaczoną diagnozą hierarchiczną $\{c_1^1, c_1^2, c_3^2, c_4^2\}$

Dla jednego komponentu może być zdefiniowanych wiele diagnoz w zależności od stopnia rozwinięcia drzewa diagnoz np. diagnozy zaznaczone na Rysunkach 4 i 5. Globalna procedura diagnostyczna prowadzi diagnostykę całego systemu i diagnostyka ta bazuje na rezultatach otrzymanych przez lokalną funkcję diagnostyczną. Globalna funkcja diagnostyczna bazuje na algorytmie przeszukiwania drzewa począwszy od jego korzenia metodą w głąb lub wszerz.

Referowana praca prezentuje elastyczną i łatwą metodologię hierarchicznego modelowania i diagnozowania złożonych systemów technicznych z możliwymi różnymi typami opisów diagnostycznych dla poszczególnych komponentów.

Do oryginalnych rezultatów osiągniętych w pracy można zaliczyć:

1. Stworzenie systemu formalnego i metodologii dla hierarchicznego modelowania złożonych systemów przy użyciu różnych opisów diagnostycznych,
2. Zaprojektowanie efektywnej procedury diagnostycznej dla powyższego modelu hierarchicznego,
3. Zaprojektowanie procedury weryfikacyjnej dla powyższej metodologii,
4. Stworzenie metodologii pozwalającej na użycie wiedzy eksperckiej i statystyki uszkodzeń w procesie diagnostycznym w celu zwiększenia jego efektywności,
5. Zaprojektowanie aplikacji koncepcyjnej wspierającej prowadzenie diagnostyki hierarchicznej.

Koszt obliczeniowy tej metody jest silnie zależny od kosztu obliczeniowego procedur diagnostycznych dla poszczególnych typów opisu, jednak dla większości typowych przypadków diagnostycznych jest on niższy od kosztu obliczeniowego dla modelu jednopoziomowego (Oleksiak, 2004).

Literatura

- Giunchiglia F., Walsh T., 1989. *Abstract theorem proving*. Proc. 11th Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, IJCAI-89, pp. 372–377, Detroit, MI, Morgan Kaufmann.
- Ligeza A., Fuster-Parra P. 1997. *And/or/not causal graphs - a model for diagnostic reasoning*. Applied Mathematics and Computer Science, Vol. 7. No. 1 pp. 57-95.
- Mozetič I., 1991. *Hierarchical model-based diagnosis*. International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 35. pp. 329–362.
- Oleksiak J., 2004. *Hierarchical diagnosis of technical systems on the basis of model and expert knowledge*. PhD Thesis, AGH, Kraków.
- Reiter R., 1987. *A theory of diagnosis from first principles*. Artificial Intelligence, Vol. 32. pp. 57-95.