

Zielona Góra, 15.12.2014r.

Dr hab. inż. Marcin Witczak, prof. UZ  
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych  
Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji  
Uniwersytet Zielonogórski  
Ul. Podgórna 50  
65- 246 Zielona Góra  
M.Witczak@issi.uz.zgora.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Mgr inż. Anny Sztyber**  
pod tytułem

**„METODA DOBORU ZBIORU SENSORÓW DLA DIAGNOSTYKI  
PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH NA PODSTAWIE GRAFU  
PRZYCZYNOWO-SKUTKOWEGO”**

opracowana na zlecenie  
Wydziału Mechatroniki  
Politechniki Warszawskiej

---

**I. Problem naukowy i obszar rozprawy**

Problemem naukowym stanowiącym przedmiot omawianej rozprawy doktorskiej jest dobór zbioru czujników pomiarowych dla detekcji i lokalizacji uszkodzeń systemów przemysłowych z zastosowaniem grafów przyczynowo-skutkowych.

Bieżący rozwój technologiczny rodzi potrzebę konstruowania coraz bezpieczniejszych i bardziej niezawodnych systemów przemysłowych. Niniejsze uwarunkowania przekształciły diagnostykę techniczną ze sztuki projektowania satysfakcjonująco bezpiecznych systemów do nowoczesnej dziedziny nauki, jaką jest obecnie. Z drugiej strony, dynamiczny rozwój urządzeń przemysłowych zmusza naukowców i inżynierów do stawiania czoła problemom o stale rosnącej złożoności. Jediną drogą do przewyciężenia takich problemów jest wykorzystanie informacji ukrytej w pomiarach związanych ze sterowanym i nadzorowanym systemem.

Zagadnienie doboru zbioru czujników pomiarowych jest bardzo ważnym i stale aktualnym problemem w dziedzinie diagnostyki technicznej. Od lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, ze względu na dynamiczny rozwój technologii i związane z nim obniżenie kosztów produkcji czujników, problem doboru optymalnego zbioru sensorów zyskuje stale na znaczeniu. Jako znakomity przykład klasycznych technik bazujących na optymalnym zbiorze czujników pomiarowych można wskazać, tzw. metodę relacji parzystości.

Przedstawiona rozprawa skupia się na opracowaniu metody doboru zbioru czujników pomiarowych, dla której stawia się niewielkie ograniczenia i może działać na szerokim spektrum systemów przemysłowych.

Celem przedstawionych badań było uzyskanie odpowiedzi na dwa fundamentalne pytania:

- Czy dostępny zbiór pomiarów pozwala na spełnienie specyfikacji diagnostycznej?
- W jaki sposób uzupełnić zbiór urządzeń pomiarowych, aby spełnienie specyfikacji diagnostycznej było możliwe?

Natomiast, do najważniejszych zadań badawczych należy zaliczyć:

- Przeprowadzenie porównania różnych modeli jakościowych stosowanych w diagnostyce technicznej, tj. grafy SDG, bond grafy, systemy liniowe strukturyzowane oraz model strukturalny
- Podanie nowej definicji struktury modelu uwzględniającej związki pomiędzy zmiennymi, co pozwala na budowanie modeli, zawierających więcej niż jedno wejście z tej samej silnie spójnej składowej grafu. Dzięki wprowadzenie tej modyfikacji nie ma potrzeby dodawania wejść cyklicznych, co znacznie upraszcza zapis i redukuje liczbę potencjalnych struktur modeli.
- Opracowanie nowej metody znajdowania wszystkich struktur modeli na podstawie grafu GP. Metoda wykorzystuje łączenie silnie spójnych składowych grafu, co pozwala na uproszczenie analizy. Osobno analizowany jest graf acykliczny oraz każda silnie spójna składowa. Nowy metoda pozwala na jej łatwą implementację z zastosowaniem standardowych narzędzi przetwarzania grafów.
- Sformułowanie warunków koniecznych i dostatecznych, jakie musi spełniać zbiór czujników pomiarowych, aby zapewnić detekcję i lokalizację wszystkich uszkodzeń. Opracowane warunki są wykorzystywane w algorytmie doboru zbioru czujników pomiarowych podczas projektowania systemu diagnostycznego.
- Opracowanie metody doboru sensorów dla diagnostyki na podstawie grafu GP. Metoda polega na sformułowaniu warunków, a następnie poszukiwaniu odpowiedniego rozwiązania.

Podsumowując, należy również podkreślić, że rezultatem praktycznym pracy jest aplikacja pozwalająca na weryfikację przedstawionego algorytmu.

## II. Koncepcja i struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera 6 rozdziałów, spisu symboli oraz bibliografii. Podstawę pracy stanowią rozdziały od 3'ego do 5'tego, które stopniowo

wprowadzają czytelnika do zagadnienia doboru zbioru czujników i prezentują proponowane rozwiązania.

**Rozdział 1** stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy, prezentuje podstawowe cele, zakres pracy, oraz podaje krótką charakterystykę jej poszczególnych części. Obejmuje także podstawowe definicje, zastosowania oraz motywacje podjęcia tematu przez autorkę.

**Rozdział 2** zawiera analizę istniejących algorytmów diagnostyki uszkodzeń. Rozważane są zarówno głównie metody bazujące na, tzw. modelach jakościowych. Pomimo, że większa część rozdziału poświęcona jest najnowszym rozwiązaniom, nawiązano także do starszych metod. Dla poszczególnych metod przedstawiono ich wady i zalety każdej z nich. W sposób szczególny potraktowane zostały nieliczne algorytmy wykorzystujące inteligentne obliczenia do diagnostyki uszkodzeń.

Rozdziały od 3go do 5go stanowią meritum pracy.

W **rozdziale 3** przedstawiona jest metoda określania wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń przy danym zbiorze czujników pomiarowych, z zastosowaniem odpowiednich struktur modeli. Metoda ta jest znaczącą modyfikacją istniejących rozwiązań. W **rozdziale 4** przedstawiona jest metoda doboru sensorów, stanowiąca główny element pracy. W **rozdziale 5** przeprowadzone jest szczegółowe porównanie opracowanych metod z istniejącymi metodami, bazującymi na innych modelach jakościowych. Podobieństwa i różnice są ilustrowane odpowiednimi przykładami. **Rozdział 6** zawiera podsumowanie oraz ewentualne kierunki dalszych prac. **Wykaz bibliograficzny** obejmuje 118 pozycji, które bardzo dobrze odzwierciedlają istniejący stan wiedzy.

### III. Oryginalne osiągnięcia i znaczenie poznawcze

Przedmiotem pracy badawczej było zaproponowanie nowatorskiej metody doboru zbioru czujników pomiarowych dla potrzeb diagnostyki uszkodzeń systemów przemysłowych. Zgodnie z zaprezentowanym w pracy obecnym stanem wiedzy w rozważanym obszarze badawczym nie rozpatrywano dotychczas tak sformułowanego zagadnienia. Autorka zauważyła i przeanalizowała szereg interesujących aspektów problemu, które były pomijane lub stanowiły marginalny element w innych opracowaniach. Stąd też konieczne okazało się rozwiązanie wielu cząstkowych zadań. Do najważniejszych osiągnięć rozprawy można zaliczyć:

- 1) podanie nowej definicji struktury modelu uwzględniającej związek pomiędzy zmiennymi, co pozwala na budowanie modeli, zawierających więcej niż jedno wejście z tej samej silnie spójnej składowej grafu,
- 2) opracowanie nowej metody znajdowania wszystkich struktur modeli na podstawie grafu GP,
- 3) sformułowanie warunków koniecznych i dostatecznych, jakie musi spełniać zbiór czujników pomiarowych, aby zapewnić detekcję i lokalizację wszystkich uszkodzeń,
- 4) opracowanie metody doboru sensorów dla diagnostyki na podstawie grafu GP.

Zaproponowane metody umożliwiają rozwiązanie problemów diagnostycznych, dla których istniejące w literaturze rozwiązania nie dają zadowalających rezultatów. Świadczy to jednoznacznie o osiągnięciu przez Autorkę celu postawionego we wstępnej części pracy.

Dorobek naukowy autora rozprawy obejmuje 11 publikacji, w tym artykuł przyjęty do druku w IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics: Systems (JCR, Wykaz A), trzy artykuły w czasopismach o zasięgu krajowym (Wykaz B) oraz 7 artykułów w materiałach konferencji międzynarodowych i krajowych.

Pani mgr Anna Szyber uczestniczyła również w realizacji jednego projektu badawczego NCN, jednego NCBiR oraz 4 finansowanych przez Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

Uwzględniając wymienione osiągnięcia naukowo-badawcze oraz fakt ich częściowego opublikowania w wyżej wymienionych pozycjach, uważam że mgr inż. Anna Szyber zrealizowała cel rozprawy oraz wykazała się wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów teoretycznych i praktycznych szeroko rozumianej współczesnej automatyki i robotyki w zakresie diagnostyki technicznej.

#### IV. Uwagi i komentarze dotyczące rozprawy

Uwagi ogólne:

- *Strony 13-14:* Autorka definiuje kolejne fazy diagnostyki uszkodzeń oraz przykłady uszkodzeń, brak jest jednak definicji uszkodzeń (ang. fault) oraz awarii (ang. failure).
- *Strona 14:* Prezentowany przegląd rozwiązań analitycznych i metod obliczeń inteligentnych nie przedstawia pełnego spektrum istniejących rozwiązań. Można tutaj wskazać szereg, tzw. rozwiązań aktywnych i pasywnych. Do pierwszej grupy zalicza się rozwiązania eliminujące wpływ szumu, zakłóceń i błędów modelowania na proces diagnostyczny. W drugim przypadku, istniejące rozwiązania bazują na, tzw. adaptacyjnym progu decyzyjnym minimalizującym ryzyko niewykrytych uszkodzeń i fałszywych alarmów.
- *Strona 31:* Autorka używa pojęcia zmiennych stanu bez podania odpowiedniej definicji. Zazwyczaj stanem systemu nazywa się zbiór zmiennych za pomocą, którego można opisać każde przeszłe i przyszłe zachowanie systemu. Autorka w podobny sposób określa zbiór  $V$  rozszerzając go jednak o zmienne sterujące, wyjściowe i potencjalne uszkodzenia. Może to budzić pewne niejasności podczas analizy dalszej części pracy.
- *Strona 76:* Autorka wskazuje, że przy zastosowaniu rozwiązania bazującego na binarnej macierz diagnostycznej można wskazać, że wszystkie uszkodzenia w układzie trzech zbiorników są wykrywalne oraz nierozróżnialne są ich pewne podzbiory. Wniosek ten może być niejasny dla czytelnika, dlatego warto przedstawić bardziej dogłębną analizę z prezentacją kompletnej macierzy diagnostycznej.

- *Strona 98-99*: Autorka wskazuje, że w przypadku zadań o większym rozmiarze poszukiwanie rozwiązania dokładnego może być zbyt czasochłonne lub liczba rozwiązań może być zbyt duża. Co oznacza stwierdzenie „większy rozmiar”? Czy można oszacować dla jakiej klasy problemów powinno się użyć algorytmów ewolucyjnych, w miejsce rozwiązań klasycznych zaproponowanych w pracy.

Uwagi szczegółowe:

- Spis symboli i skrótów znajduje się na stronie 137, a nie tak jak podano w spisie treści na stronie 135.
- Wskazane w spisie symboli i skrótów strony występowania definicji niektórych pojęć są nieprawidłowe, np. według spisu definicja Grafu Procesu (GP) znajduje się na stronie 28, a w rzeczywistości jest ona na stronie 30.
- Praca zawiera nieliczne błędy redakcyjne, np. str. 72 „dla układy trzech zbiorników”.

## V. Podsumowanie recenzji

Reasumując, podniesione wyżej uwagi krytyczne i komentarze nie wpływają jednak na wysoką ocenę oryginalnych i opublikowanych osiągnięć naukowo-badawczych, zasadniczych wyników zawartych w recenzowanej pracy oraz jej ogólną pozytywną ocenę, która wyraźnie wykracza ponad poziom przeciętny.

W związku z powyższym stwierdzam, że:

- recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Sztyber spełnia wszystkie wymagania stosownej ustawy o tytułach i stopniach naukowych.
- wnoszę o przyjęcie opiniowanej rozprawy oraz jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej

Marvin Włoch

